

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

NÁDIA MARIANE MUCHA

RELAÇÃO SOLO-RELEVO ENTRE A SERRA DO MAR E PLANALTO DO ALTO  
IGUAÇU COMO SUBSÍDIO PARA O MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS

CURITIBA - PR

2020

NÁDIA MARIANE MUCHA

RELAÇÃO SOLO-RELEVO ENTRE A SERRA DO MAR E PLANALTO DO ALTO  
IGUAÇU COMO SUBSÍDIO PARA O MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Jairo Calderari de Oliveira Junior

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Claudio de Paula Souza

CURITIBA - PR

2020

Mucha, Nádia Mariane

Relação solo-relevo entre a Serra do Mar e Planalto do Alto Iguaçu como subsídio para o mapeamento digital de solos / Nádia Mariane Mucha.

. - Curitiba, 2020.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo.

Orientador: Jairo Calderari de Oliveira Junior.

Coorientador: Luiz Claudio de Paula Souza.

1. Ciência do Solo. 2. Geomorfologia. 3. Processamento de imagem auxiliado por computadores. I. Oliveira Junior, Jairo Calderari. II. Souza, Luiz Claudio de Paula. III. Título. IV. Universidade Federal do Paraná.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO CIÊNCIA DO SOLO -  
40001016014P4

### TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIA DO SOLO da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **NÁDIA MARIANE MACHA** intitulada: **RELAÇÃO SOLO-RELEVO ENTRE A SERRA DO MAR E PLANALTO DO ALTO IGUAÇU COMO SUBSÍDIO AO MAPEAMENTO DIGITAL DE SOLOS**, sob orientação do Prof. Dr. JAIRO CALDERARI DE OLIVEIRA JUNIOR, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Fevereiro de 2020.

JAIRO CALDERARI DE OLIVEIRA JUNIOR

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

LEONARDO JOSÉ CORDEIRO DOS SANTOS

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - PPGGEOGRAFIA)

LUIZ CLAUDIO DE PAULA SOUZA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



Dedico a meus pais Henrique e Nádia, meus irmãos, Ana, Mary e Miguel, e meus sobrinhos Enzo, Ana Carolina e Isabelli, com amor.

## AGRADECIMENTOS

Sou grata a Deus, pela graça da vida e por estar em mim.

Aos meus pais pela educação que me foi dada, e por me ensinarem os verdadeiros valores, Sr. Henrique Leo Mucha e Sra. Nádia Silveira Mucha, a vocês o meu amor eterno. Pais amados por tantas vezes renunciarem aos seus sonhos para que eu pudesse realizar o meu, partilho aqui a alegria desse momento.

Aos meus irmãos Ana, Mary e Miguel que Deus colocou em minha vida, e escolhi para conviver, meu amor sem limites, a distância não nos separa.

Ao meu orientador Prof. Dr. Jairo Calderari de Oliveira Junior tenho orgulho de citá-lo como um dos responsáveis pela minha formação profissional e humana, agradeço pela sua confiança, amizade, conselhos, e paciência a mim creditadas. Seu exemplo foi imprescindível.

Ao meu coorientador Prof. Dr. Luiz Claudio de Paula Souza, tê-lo ao meu lado é uma imensa honra, e expresso meu agradecimento pelos ensinamentos, incentivos, conselhos e sua confiança, sou muito grata.

Ao proprietário da Fazenda Boqueirão Sr. Silmar Burer e sua querida mãe Dona Lala (*in memoriam*) por oportunizar o acesso a sua área para estudo e também, por todo acolhimento. Ao proprietário da Fazenda das águas JM por disponibilizar o acesso a área para a realização do estudo.

Ao grupo de pesquisa Pedologic pela ajuda de campo e laboratório, agradeço por contribuírem para a concretização deste trabalho. Especialmente a minha colega Daniela, agradeço pelas suas palavras e gestos de carinho.

Aos amigos e colegas que gentilmente me receberam, a todos com quem aprendi, aos que proporcionaram alegrias e grandes momentos à minha vida, especialmente para Lili, André, Priscila, Mari, Ricardo, Bruna, Selma, Carla, Fabi, Jocelito, Regiane e Carlos levo comigo em meu coração, gratidão pela torcida.

A Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo pelo acolhimento e a realização do curso de Mestrado em Ciência do Solo.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de Mestrado.

Aos demais professores que tive a oportunidade de aprender. A todos os laboratoristas e funcionários do departamento de Solos e Engenharia Agrícola, em especial a Denise de Conti, por sempre estar presente e por seu carinho.

A todos o meu pleno e emocionado agradecimento!

## RESUMO

O Primeiro Planalto Paranaense é constituído por uma diversidade geomorfológica, com uma variação de classes de solos influenciada pela Serra do Mar (SM) e pelo Planalto do Alto Iguaçu (PA). Os mapas de solos disponíveis para a região estão em um nível de detalhamento de reconhecimento (1:250.000 e 1:600.000), o que não corresponde com a escala necessária para o manejo e planejamento do solo na maioria das propriedades rurais de municípios como de Tijucas do Sul – PR. Técnicas mais ágeis e menos onerosas no Mapeamento Digital de Solos podem gerar mapas detalhados de solos. Assim, de um Modelo Digital de Elevação (MDE) podem ser extraídos atributos topográficos, que representam mensurações quantitativas das formas de relevo, e podem prever as relações solo-relevo. Os atributos topográficos podem ser combinados em classificadores de imagens, nos softwares de Sistemas de Informação Geográfica, e agrupar diferentes processos hidrológicos e pedológicos. Os objetivos deste estudo foram: a) entender as relações entre as variações dos atributos dos solos nos compartimentos geomorfológicos encontrados no município de Tijucas do Sul, e b) definir quais atributos topográficos e classificadores de imagem podem representar a variação de solos nas topossequências estudadas na região entre a SM e o PA. Foram amostradas quatro topossequências em três compartimentos geomorfológicos que ocorrem na região, sendo eles: Blocos Soerguidos da Serra do Mar (SM); Planalto de Curitiba (PC); Planalto do Alto do Iguaçu (PA) e na transição entre o PC e PA. Foram realizadas descrições morfológicas de perfis de solos, coletadas amostras deformadas para análises de rotina e realizada a classificação dos solos. O MDE foi obtido por meio do ALOS PALSAR e em seguida foram gerados no software SAGA GIS atributos topográficos. Destes, os que apresentaram significativa correlação com os atributos químicos e granulométricos dos solos foram: o *multi-resolution valley bottom flatness index* (MrVBF), *profile curvature*, *slope*, *topographic wetness index* (TWI) e *valley depth*. Os classificadores de imagens supervisionada e a não supervisionada representaram a separação das classes de solos ocorridas nas topossequências, sendo proposta uma representação de novas unidades de mapeamento (UM) dentro das topossequências. Na SM a formação do Organossolo Fólico (OO) em ambiente altimontano, apresentou valores médios de MrVBF < 0,5 e TWI < 6. Os Organossolos Háplicos (OX) nas planícies aluviais, obtiveram médias de MrVBF > 2 e TWI > 8. Os perfis de Nitossolos foram inseridos nas UM's pela escala 1:250.000 como inclusões de Podzólicos Vermelho-Amarelos. Em áreas intermediárias nas topossequências, os Cambissolos, mostraram uma relação silte/argila menor do que 0,6. Os atributos topográficos que foram selecionados pela matriz de correlação, contribuíram para a delimitação das classes de solos, e quando aplicados nos classificadores de imagem auxiliaram na melhor separação dos solos que ocorrem nas topossequências entre a SM e o PA.

Palavras-chave: Pedologia. Geomorfologia. Classificadores de imagem.

## ABSTRACT

The First Paranaense Plateau is constituted by a geomorphological diversity, with a variation of soil classes influenced by the Serra do Mar (SM) and the Plateau of the Alto Iguaçu (PA). The soil maps available for the region they are level of recognition detail (1:250,000 and 1:600,000), which does not correspond to the scale for soil management and planning in most rural properties in county such as Tijucas do Sul – PR. More agile and less expensive techniques in Digital Soil Mapping can generate detailed soil maps. Thus, from a Digital Elevation Model (DEM), topographic attributes can be extracted, which represent quantitative measurements of the relief forms, and can predict soil-relief relationships. Topographic attributes can be combined in image classifiers, in Geographic Information Systems software and in different groups of hydrological and pedological processes. The aim of this study were: a) to understand the relationships between the variations of soil attributes in the geomorphological compartments found in the county of Tijucas do Sul, and b) to define which topographic attributes and image classifiers may represent the variation of soils in the toposequences studied in the region between the SM and the PA. Four toposequences were sampled in three geomorphological compartments that occur in the region: Serra do Mar (SM); Curitiba Plateau (PC); Plateau of the Alto Iguaçu (PA) and transition between PC and PA. Morphological descriptions of soil profiles were performed, collected deformed for routine analysis and carried out in soil classification. The DEM was obtained using of ALOS PALSAR and then topographic attributes were generated in the SAGA GIS software. Of these, those that showed a significant correlation with the chemical and granulometric attributes of the soils were: multi-resolution valley bottom flatness index (MrVBF), profile curvature, slope, topographic wetness index (TWI) e valley depth. The image classifiers (supervised and unsupervised) represents a classification of the soil classes that occurred in the toposequences, being a representation of new mapping units (MU) is proposed the toposequences studying. In SM, the formation of the Organossolo Fólico (OO) in the altimontane environment, with average values of MrVBF < 0.5 and TWI < 6. The Organossolo Háplico (OX) in alluvial plains, obtain media of MrVBF > 2 and TWI > 8. The profiles of Nitossolos were inserted in MU by scale 1:250,000 as inclusions of Podzólicos Vermelho-Amarelos. In intermediate areas in the toposequences, the Cambissolos, showed a silt/clay ratio lower than 0.6. The topographic attributes that were selected by the correlation matrix, contributed to the delimitation of the soil classes, and when applied to the images classifiers, they helped in the better separation of the soils that occur in the toposequences between the SM and the PA.

Keywords: Pedology. Geomorphology. Images classifiers.



## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO I

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL – PR, E DOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM DAS TOPOSSEQUÊNCIAS ESTUDADAS. ....	24
FIGURA 2 – BLOCO DIAGRAMA ILUSTRANDO OS TRÊS COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS QUE OCORREM NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL – PR, COM A LOCALIZAÇÃO DOS 14 PERFIS ESTUDADOS.....	26
FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS ESTUDADOS NA TOPOSSEQUÊNCIA DA SERRA DO MAR (SM). ....	30
FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS ESTUDADOS NA TOPOSSEQUÊNCIA DO PLANALTO DE CURITIBA (PC).....	34
FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS ESTUDADOS NA TOPOSSEQUÊNCIA DA TRANSIÇÃO ENTRE OS PLANALTOS DE CURITIBA E DO ALTO IGUAÇU (PC/PA). ....	38
FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS ESTUDADOS NA TOPOSSEQUÊNCIA DO PLANALTO DO ALTO IGUAÇU (PA)..	42

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO II

FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL – PR E LOCALIZAÇÃO DAS TOPOSSEQUÊNCIAS ESTUDADAS..	66
FIGURA 2 – ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS GERADOS DO MDE PARA A TOPOSSEQUÊNCIA NA SERRA DO MAR (SM)..	79
FIGURA 3 – ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS GERADOS DO MDE PARA A TOPOSSEQUÊNCIA NO PLANALTO DE CURITIBA (PC). ....	79
FIGURA 4 – ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS GERADOS DO MDE PARA A TOPOSSEQUÊNCIA NA TRANSIÇÃO ENTRE OS PLANALTOS DE CURITIBA E DO ALTO IGUAÇU (PC/PA). ....	80
FIGURA 5 – ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS GERADOS DO MDE PARA A TOPOSSEQUÊNCIAS NO PLANALTO DO ALTO IGUAÇU (PA). ....	80
FIGURA 6 – DISTRIBUIÇÃO DOS AGRUPAMENTOS REALIZADOS PELO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE IMAGEM PARA AS TOPOSSEQUÊNCIAS SM (a), PC (b), PC/PA (c), E PA (d). ....	84
FIGURA 7 – DISTRIBUIÇÃO DOS AGRUPAMENTOS REALIZADOS PELO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA DE IMAGEM, PARA AS TOPOSSEQUÊNCIAS SM (a), PC (b), PC/PA (c), E PA (d). ....	86
FIGURA 8 – MAPAS DA OCORRÊNCIA DE CLASSES DE SOLOS (NOVA UNIDADE DE MAPEAMENTO) NAS TOPOSSEQUÊNCIAS ESTUDADAS: SM (a), PC (b), PC/PA (c), E PA (d), E COMPARATIVO COM A DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES DE MAPEAMENTO EM ESCALA 1:250.000 (BHERING et al., 2008). ....	88

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO I

TABELA	1	– CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DOS PERFIS DE SOLOS ESTUDADOS, NO COMPARTIMENTO GEOMORFOLÓGICO DA SERRA DO MAR (SM). ....	31
TABELA	2	– CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DOS PERFIS DE SOLOS ESTUDADOS, NO COMPARTIMENTO GEOMORFOLÓGICO DO PLANALTO DE CURITIBA (PC). ....	35
TABELA	3	– CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DOS PERFIS DE SOLOS ESTUDADOS, NA TRANSIÇÃO ENTRE OS COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS DOS PLANALTOS DE CURITIBA E DO ALTO IGUAÇU (PC/PA). ....	39
TABELA	4	– CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DOS PERFIS DE SOLOS ESTUDADOS, NO COMPARTIMENTO GEOMORFOLÓGICO DO PLANALTO DO ALTO IGUAÇU (PA). ....	43
TABELA	5	– CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DIAGNÓSTICAS DOS PERFIS NAS TOPOSSEQUÊNCIAS OBSERVADAS. ....	44
TABELA	6	– UNIDADES DE MAPEAMENTO (UM), CONFORME ESCALA 1:250.000, EM QUE ESTÃO INSERIDOS OS PERFIS ESTUDADOS. ADAPTADO DO MAPA DO LEVANTAMENTO DE RECONHECIMENTO DOS SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ: LEGENDA ATUALIZADA. ....	46

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO II

TABELA 1	– CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS DAS TOPOSSEQUÊNCIAS ESTUDADAS (SM, PC, PC/PA e PA), DE ACORDO COM O SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (SANTOS et al., 2018), E UNIDADES DE MAPEAMENTO (UM), CONFORME ESCALA 1:250.000, EM QUE ESTÃO INSERIDOS OS PERFIS ESTUDADOS.....	69
TABELA 2	– UNIDADES DE MAPEAMENTO (UM), CONFORME ESCALA 1:250.000, EM QUE ESTÃO INSERIDOS OS PERFIS ESTUDADOS. ADAPTADO DO MAPA DO LEVANTAMENTO DE RECONHECIMENTO DOS SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ: LEGENDA ATUALIZADA.....	74
TABELA 3	– CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DOS PERFIS DE SOLOS ESTUDADOS EM TIJUCAS DO SUL – PR.....	75
TABELA 4	– COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA OS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS COM OS ATRIBUTOS QUÍMICOS E GRANULOMÉTRICOS DOS PERFIS OBSERVADOS NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL – PR.....	78
TABELA 5	– ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS OBTIDOS DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE) PARA OS PERFIS OBSERVADOS.....	82
TABELA 6	– VALORES MÉDIOS DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS PARA CADA NOVA UNIDADE DE MAPEAMENTO CORRESPONDENTE AS CLASSES DE SOLOS NAS TOPOSSEQUÊNCIAS.....	90

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>15</b>
1.1 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO.....	17
<b>2 CAPÍTULO I: PEDOGEOMORFOLOGIA ENTRE A SERRA DO MAR E O PLANALTO DO ALTO IGUAÇU.....</b>	<b>18</b>
2.1 RESUMO.....	18
2.2 ABSTRACT .....	19
2.3 INTRODUÇÃO .....	20
2.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	23
2.4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	23
2.4.2 COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	25
2.4.3 OBSERVAÇÕES DE CAMPO E ANÁLISES DE SOLO .....	26
2.5 RESULTADOS .....	28
2.5.1 CLASSES DE SOLOS NOS COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS ...	28
2.5.2 CLASSES DE SOLOS E UNIDADES DE MAPEAMENTO .....	45
2.6 DISCUSSÕES.....	47
2.7 CONCLUSÕES .....	53
2.8 REFERÊNCIAS.....	54
<b>3 CAPÍTULO II: PROCESSOS PEDOGENÉTICOS ENTRE A SERRA DO MAR E O PLANALTO DO ALTO IGUAÇU REPRESENTADOS POR ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS .....</b>	<b>61</b>
3.1 RESUMO.....	61
3.2 ABSTRACT .....	62
3.3 INTRODUÇÃO .....	63
3.4 MATERIAL E MÉTODOS .....	65
3.4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	65
3.4.2 TOPOSSEQUÊNCIAS OBSERVADAS.....	67
3.4.3 ANÁLISES LABORATORIAIS E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS .....	68
3.4.4 ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS .....	69
3.4.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....	70
3.4.6 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM E CLASSES DE SOLOS .....	70
3.5 RESULTADOS .....	72
3.5.1 TOPOSSEQUÊNCIAS E CLASSES DE SOLOS .....	72



3.5.2 ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS .....	77
3.5.3 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM .....	82
3.5.3.1 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA .....	82
3.5.3.2 CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA .....	84
3.5.4 NOVAS UNIDADES DE MAPEAMENTO IDENTIFICADAS .....	86
3.6 DISCUSSÕES .....	90
3.6.1 TOPOSSEQUÊNCIAS E CLASSES DE SOLOS .....	90
3.6.2 ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS .....	91
3.6.3 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM E A DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE SOLOS .....	95
3.7 CONCLUSÕES .....	97
3.8 REFERÊNCIAS .....	98
<b>4 CONCLUSÃO GERAL .....</b>	<b>105</b>
<b>5 REFERÊNCIAS .....</b>	<b>106</b>
<b>APÊNDICE 1 – DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS .....</b>	<b>118</b>
<b>APÊNDICE 2 – REPRESENTAÇÃO DE PERFIS DE SOLOS E PAISAGEM DE OCORRÊNCIA NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL – PR .....</b>	<b>139</b>

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Os mapas de solos disponíveis no estado do Paraná (Bhering et al., 2008), estão em nível de detalhamento de reconhecimento (escalas 1:250.000 ou 1:600.000). Nas atuais escalas os mapas apresentam associações de até quatro classes de solos em uma unidade de mapeamento (UM) (Embrapa, 1989; Santos, et al. 1995).

A área da maioria das propriedades rurais de municípios como o de Tijucas do Sul – PR não está representada nestes levantamentos pedológicos de reconhecimento, sendo necessário um melhor detalhamento da distribuição dos tipos de solos para o adequado planejamento conservacionista.

O município de Tijucas do Sul está inserido no Primeiro Planalto Paranaense (PPP) e apresenta uma diversidade geomorfológica, com uma variação de classes de solos. Na região ocorrem importantes nascentes do Rio Iguaçu que corta o estado do Paraná de leste até oeste, onde está situado o Parque Nacional do Iguaçu (MMA, 2006).

Nas áreas onde ocorrem as nascentes do Rio Iguaçu, são encontrados Organossolos Háplicos que são importantes reservatórios de carbono e água. Assim, a distribuição desse solo deve ser conhecida afim de evitar a degradação e manter a proteção das áreas alagadas onde ocorrem (Loisel et al., 2014; Crump, 2017; Silva Neto et al., 2019).

Abaixo destes Organossolos Háplicos (turfeiras) são encontradas camadas espessas de material caulínítico conhecido como caulim, também observadas assentadas em áreas sem turfa, sobre o complexo gnaisse-migmatito.

O material caulínítico é um recurso natural explorado pela indústria cerâmica na região de Tijucas do Sul – PR, no entanto áreas de Organossolos Háplicos tornam-se fragilizadas pela extração do caulim subjacente, e pela tentativa inadequada de restauração do ambiente.

Para melhor representar a ocorrência da diversidade de solos neste município, podem ser estabelecidas relações entre os padrões de relevo com a distribuição dos solos. Na predição espacial de classes e atributos do solo são aplicados métodos matemáticos e estatísticos associados ao conhecimento pedológico, uma ciência conhecida como pedometria (Webster, 1994).

Nesta percepção pedométrica pelo processamento de Modelos Digitais de Elevação (MDE) podem ser obtidos atributos topográficos, que representam mensurações quantitativas das formas de relevo (Moore et al., 1993; Gallant e Wilson, 2000; Chagas, 2013; Minasny e McBratney, 2016).

O desenvolvimento de diferentes solos numa topossequência está condicionado aos fluxos de água, em que as variações do relevo propiciam esta movimentação e influenciam na formação dos solos (Moore et al. 1993).

Osat et al. (2016) constata que atributos topográficos como a declividade (*slope*) e o índice topográfico de umidade (*topographic wetness index*) entre outros, apresentaram correlação com a distribuição de classes de solos, ocorrendo solos mais desenvolvidos em áreas estáveis (menos declivosas), com maior movimentação e permeabilidade de água no solo.

Os atributos topográficos podem ser agrupados em áreas com padrões similares, aplicando ferramentas de classificação de imagens, como os classificadores supervisionados e não supervisionados.

A classificação supervisionada corresponde ao agrupamento de áreas semelhantes, a partir dos atributos topográficos inseridos como dados de entrada, juntamente com a inserção de áreas de treinamento, conhecidas no campo pelo usuário (Brogi et al., 2019).

Já no algoritmo não supervisionado é apenas definido o número de classes de saída apropriadas, e como resultado o classificador agrupa em um mesmo cluster os dados com alta similaridade (Zeraatpisheh et al., 2019).

Estas técnicas são importantes ferramentas que podem ser usadas em conjunto ao MDS no fornecimento de informações com maior detalhe, no entanto é necessário experiência e o conhecimento de informações prévias da área em estudo (Hartemink e McBratney, 2008).

A relação solo-relevo da região entre a SM e o PA é pouco conhecida, sendo necessárias melhores informações sobre os processos de formação dos solos. Desta forma, os atributos topográficos podem contribuir para a delimitação das diferentes classes de solos que ocorrem no município de Tijucas do Sul, podendo serem estes aplicados em classificadores de imagens afim de melhor representar as classes de solos.

Os objetivos do presente estudo são: a) entender as relações entre as variações dos atributos dos solos nos compartimentos geomorfológicos encontrados

na região da Serra do Mar (SM) até o Planalto do Alto Iguaçu (PA); e b) definir quais atributos topográficos e classificadores de imagens podem representar a variabilidade dos solos em topossequências no município de Tijucas do Sul – PR.

## 1.1 ORGANIZAÇÃO DO ESTUDO

Devido a necessidade de conhecer a campo as classes de solos que ocorrem na região entre a SM e o PA representada pelo município de Tijucas do Sul – PR, para a presente dissertação inicialmente foram realizadas amostragens de solos em topossequências para classificação dos tipos de solos que ocorrem nos compartimentos geomorfológicos da Serra do Mar e nos Planaltos de Curitiba e do Alto do Iguaçu (Capítulo 1).

Os pontos amostrados em cada topossequência foram estabelecidos conforme as variações de relevo e de características de solo. Quando possível foram amostrados perfis em cortes de barranco, ou realizada tradagem para a descrição morfológica e coleta de amostras deformadas para análises de rotina, e então classificação dos tipos de solos nas topossequências estudadas.

Assim foi oportunizada a relação entre o conhecimento pedológico e a geomorfologia como instrumentos para a compreensão dos processos de evolução entre o relevo e o solo. Na sequência, o Capítulo 2 define quais os atributos topográficos apresentaram melhor relação com a ocorrência das classes de solos nas topossequências estudadas. E com estes atributos topográficos foram testados os métodos de classificação de imagens supervisionada e não supervisionada, para representar a separação das classes de solos ocorridas nas topossequências. Assim propomos uma representação de novas unidades de mapeamento (UM) dentro das topossequências.

## 2 CAPÍTULO I: PEDOGEOMORFOLOGIA ENTRE A SERRA DO MAR E O PLANALTO DO ALTO IGUAÇU

### 2.1 RESUMO

Há uma diversidade geomorfológica encontrada no Primeiro Planalto Paranaense, e nele especificamente está inserido o município de Tijucas do Sul que tem uma variação de solos influenciada pela Serra do Mar (SM) e pelo Planalto do Alto Iguaçu (PA). Os mapas de solos disponíveis são uma representação generalista (escala 1:250.000 e 1:600.000), e não conseguem caracterizar a distribuição dos solos na região na escala necessária para o manejo e planejamento do solo nas propriedades rurais. O estudo tem como objetivo entender as relações entre as variações dos atributos dos solos com os compartimentos geomorfológicos na região entre a SM e o PA. Para tanto, foram observadas topossequências em três compartimentos geomorfológicos que ocorrem na região sendo eles: o Blocos Soerguidos da Serra do Mar (SM); Planalto de Curitiba (PC) e; do Planalto do Alto do Iguaçu (PA). Foram realizadas descrições morfológicas de perfis de solos, e coletadas amostras deformadas para análises de rotina e feita a classificação dos solos. Amostrou-se também uma topossequência na transição entre o PC e o PA, a fim de observar as possíveis variações na relação solo-relevo. Foram constatadas diferentes classes de solos nas topossequências estudadas e algumas destas não aparecem nas associações das unidades de mapeamento (UM) delimitadas nas áreas de estudo. O Organossolo Fólico na SM a 1.192 m de altitude forma-se em ambientes de vegetação altimontana devido às baixas temperaturas e maior umidade. Já os Organossolos Háplicos têm a sua gênese a partir do ambiente de várzea com escassez de oxigênio, ácido, e com substrato rochoso argiloso, que correlaciona os processos de acúmulo de material vegetal, decomposição, humificação e paludização. Abaixo dos horizontes orgânicos no Organossolo Háptico foram verificadas camadas de argila caulinitica, conhecidas como caulim, que ocorreram em áreas bem drenadas, sem a presença de matéria orgânica (turfa), entretanto na literatura não há uma abordagem sucinta sobre como se deu a (trans)formação do material caulinitico nestes ambientes. A classe dos Nitossolos foi encontrada nos diferentes compartimentos, e são aceitos nas UM's como inclusões de Podzólicos Vermelho-Amarelos. Porém, nas UM's incluem os Latossolos, Nitossolos e Argissolos, o que evidencia a necessidade de separação destes solos, que se diferenciam por características específicas como gradiente textural maior do que 1,5 (Argissolos), e a existência de cerosidade no mínimo moderada e comum (Nitossolos). De ocorrência em áreas intermediárias nas topossequências, os Cambissolos com horizonte superficial húmico, mostraram uma relação silte/argila menor do que 0,6 o que os aproxima com a classe dos Latossolos. Os Nitossolos são encontrados em diferentes condições topográficas, o que representa a ocorrência de um mesmo processo pedogenético em locais com declividades distintas. Assim, existe a necessidade por uma classificação de solo que aborde a geomorfologia, separando os solos por aspectos do relevo, o que colabora para o uso, manejo e preservação. As definições taxonômicas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos devem ser revisadas para atender as demandas por profissionais que necessitam de informações sobre solos.

Palavras-chave: Topossequência. Relação solo-relevo. Organossolos.



## 2.2 ABSTRACT

There is a geomorphological diversity found in the First Paranaense Plateau, and in it is specifically inserted county of Tijucas do Sul which has a variation of soils influenced by Serra do Mar (SM) and the Plateau of the Alto Iguaçu (PA). The available soil maps are a generalist representation (scale 1:250,000 and 1:600,000), and fail to characterize the distribution of soils in the region on the scale necessary for soil management and planning on rural properties. The study aims to understand the relationships between variations in soil attributes with geomorphological compartments in the region between SM and PA. For that, toposequences were observed in three geomorphological compartments that occur in the region: the Serra do Mar (SM); Curitiba Plateau (PC) and; of the Plateau of the Alto Iguaçu (PA). Morphological descriptions of soil profiles were performed, and deformed samples were collected for routine analysis and soil classification was performed. A toposequence was also sampled in the transition between the PC and the PA, in order to observe the possible variations in the soil-relief relationship. Different soil classes were found in the toposequences studied and some of them do not appear in the associations of the mapping units (MU) delimited in the study areas. The Organossolo Fólico in the SM at 1,192 m altitude is formed in environments of altimontana vegetation due to low temperatures and higher humidity. The Organossolos Háplicos have their genesis from the floodplain environment with scarcity of oxygen, acid, and with clayey rocky substrate, which correlates the processes of the accumulation of organic material, decomposition, humification and paludization. These same layers occurred in well-drained areas, without the presence of organic matter (peat), however in the literature there is no succinct explanation about how the (trans)formation of this kaolinitic material occurred in these environments. The class of Nitossolos was found in the different compartments, and are accepted at MU's as inclusions of Podzólicos Vermelho-Amarelos. However, in MU's they include Latossolos, Nitossolos and Argissolos, which highlights the need for separation of these soils, which are differentiated by specific characteristics such as textural gradient greater than 1.5 (Argissolos), and the existence of at least moderate waxiness common (Nitossolos). Occurring in intermediate areas in toposequences, Cambissolos with a humic surface horizon, showed a silt/clay ratio lower than 0.6, which brings them closer to the Latossolos class. Nitossolos are found in different topographic conditions, which represents the occurrence of the same pedogenetic process in places with different slopes. Thus, there is a need for a classification of soil that addresses geomorphology, separating soils by aspects of relief, which contributes to the use, management and preservation. The taxonomic definitions in the Brazilian Soil Classification System must be revised to meet the demands of professionals who need information on soils.

**Keywords:** Toposequence. Soil-relief relationship. Histosols.

## 2.3 INTRODUÇÃO

O Primeiro Planalto do Estado do Paraná (PPP), também conhecido como Planalto de Curitiba ou Cristalino, estende-se por 75 Km desde a escarpa “devoniana” de São Luís do Purunã, também conhecida como Serrinha, a oeste, até a Serra do Mar, a leste (Maack, 1968; 2001). Há uma grande diversidade geológica presente no PPP, desde rochas ígneas como granito (intrusiva ácida) e diabásio (intrusiva básica); metamórficas como gnaisses, mármore, quartzitos, filitos; e sedimentares como calcários e argilitos, além de sedimentos fluviais e paludais (do Quaternário recente) (Bigarella et al., 1994).

No PPP que ocorrem as mais importantes nascentes do rio Iguaçu e seus afluentes, como o Rio Negro que nasce na Serra do Quiriri, entre os municípios de Tijucas do Sul – PR e Campo Alegre – SC. Com uma grande representatividade para o Brasil, o rio Iguaçu possui usinas hidroelétricas ao longo de seu percurso, responsáveis por cerca de 6,54% da energia elétrica produzida no país (Souza-Bastos et al., 2017; Grupo Gestor de Revitalização do Rio Iguaçu – GGRI, 2019). O rio Iguaçu também é conhecido pelas Cataratas que levam o mesmo nome do rio, tendo sua foz na fronteira entre Brasil – Paraguai – Argentina, além de ser um dos principais afluentes da margem esquerda do rio Paraná (MMA, 2006).

Na região sul do PPP, o município de Tijucas do Sul tem grande influência de três compartimentos geomorfológicos, sendo estes a Serra do Mar (SM), o Planalto de Curitiba (PC) e o Planalto do Alto Iguaçu (PA) (Santos et al., 2006). Nesses compartimentos são observadas particularidades de solos, que ocorrem a distâncias menores as quais não podem ser representadas na escala generalista dos mapas de solos disponíveis (1:250.000 e 1:600.000 – Bhering et al., 2008).

As unidades de mapeamento (UM) observadas no mapa de solos abrangem áreas maiores do que grande parte das propriedades inseridas neste município. Para o planejamento do uso, manejo, e o estabelecimento de políticas públicas para conservação dos solos, em um nível de propriedade e bacia hidrográfica, é necessário representar a pedodiversidade em uma escala compatível com a realidade na região.

Na Bacia Sedimentar de Tijucas do Sul, recentemente denominada de formação Tabatinga (Moreira et al. 2019), há uma grande diversidade de atributos geológicos, sobretudo na seleção de tamanhos de partículas e minerais, que

consequentemente podem afetar as propriedades do solo e sua classificação. A litologia influencia na diversificação e nas formas de relevo, consequentemente afetando as taxas de intemperismo, os processos erosivos, e a profundidade dos solos (Bigarella et al., 1994; Farpoor et al., 2012).

Nas planícies aluvionares são encontradas camadas espessas de material caulínítico, chamado caulim, abaixo de Organossolos (turfeiras). O caulim, também é observado em áreas sem turfa, sobre o complexo gnaisse-migmatito. Pesquisas atribuíram a evolução das camadas caulíníticas a um processo do intemperismo de sedimentos arcóseos (feldspato) (Moreira et al., 2019; Biondi e Santos, 2004), a partir da acidificação do solo por camadas de Organossolos Háplicos.

Outros autores supõem que, os processos de deposição e formação das argilas foram influenciados pelo ambiente úmido, favorecendo assim a dessilicação dos feldspatos, transformando-se em silicato hidratado de alumínio, sílica solúvel, e compostos de íons básicos (Aumond, 1993; Bigarella et al., 1994).

No Brasil estima-se que as maiores áreas de turfeiras estão na região subtropical (Cipriano-Silva et al., 2014). Porém, a estimativa das áreas de Organossolos no país é imprecisa devido a escala generalista de mapeamento, informações desatualizadas. Em um apanhado geral Minasny et al. (2019), fazem uma revisão sobre as estimativas globais das áreas de turfeiras, e indicam a preocupação por serem negligenciadas as suas extensões, enfatizando assim a busca por técnicas que possam propiciar informações atualizadas sobre a distribuição destes solos, afim de preservá-los.

Os Organossolos também merecem atenção pela sua subsidência, que altera o volume do solo pela redução do lençol freático, entrada de O<sub>2</sub> e aumento na atividade biológica, principalmente daqueles organismos decompositores da matéria orgânica do solo (MOS) (Everett, 1983; Hoogland et al., 2012). Na região de Tijucas do Sul estes solos armazenam água e regulam o fluxo hídrico das nascentes do Rio Negro.

Outras particularidades na base de dados dos solos do município, são áreas inseridas em UM's que possuem como inclusões as classes dos Argissolos e Nitossolos, anteriormente classificados como Podzólicos Vermelho-Amarelos. Considerando que apenas o conteúdo de argila B/A os diferenciam, ambas as classes de solos apresentam uma grande similaridade (Vasques et al., 2014).

Na classe dos Nitossolos, ocorre uma certa migração vertical de partículas de argila coloidal, não suficiente para definir um gradiente textural, mas apenas para revestir os *peds* estruturais dos horizontes subsuperficiais, formando um ‘filme de argila’ chamado de *cutans* (Cooper e Vidal-Torrado, 2005).

Pesquisa realizada por (Chiapini et al. 2018) no município de Tijucas do Sul, sobre a formação de horizontes sômbricos em perfis, não identificou a ocorrência de argiluviação por análise de micromorfologia, atribuindo a presença de brilho nas unidades estruturais a processos de contração e expansão, que ocasionam um rearranjo das partículas de argila nas faces dos agregados. No entanto, nesses perfis foi identificada uma variação de cor que se caracteriza como policromia, sendo então classificados como Argissolos.

Para estudar a gênese dos solos a partir das variações no relevo, estas podem ser melhor representadas ao analisar uma topossequência (Vidal-Torrado et al., 2005). Ao estabelecer o estudo das variações de solos a partir de sucessões laterais – catenas (Milne, 1935), nos diferentes segmentos destas, podem ser elaborados modelos que representem as relações solo-relevo.

As variações geomorfológicas contribuem para a ocorrência de classes distintas de solos na paisagem. Ao entendermos que os demais fatores responsivos aos processos de formação dos solos não apresentam variação em um dado local, obtemos uma condição para estudar a gênese dos solos pelo fator topográfico (Bockheim et al., 2005; Životić et al., 2017).

A região entre a SM e o PA carece de informação sobre os processos de formação dos solos, o que reflete nas relações pedológicas entre as classes de solos e os compartimentos geomorfológicos pouco conhecidas. Os compartimentos geomorfológicos podem contribuir para a ocorrência de diferentes classes de solos, sendo que a SM provavelmente fornece sedimentos para a formação dos solos nas várzeas do Rio Iguaçu.

Nessa abordagem, pretendemos contribuir com informações sobre as variações de solos que ocorrem em pequenas extensões na região entre a SM e o PA. As informações do presente estudo poderão auxiliar em políticas públicas de incentivo a conservação e ocupação adequada do solo, além de dar suporte para que outros trabalhos possam ser realizados nestas áreas. O objetivo do estudo foi entender as relações entre as variações dos atributos dos solos com os

compartimentos geomorfológicos na região entre a SM e o PA, em topossequências no município de Tijucas do Sul – PR.

## 2.4 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado em topossequências de solos na Bacia do Alto Iguaçu, localizadas no município de Tijucas do Sul, no Estado do Paraná, Brasil, próximo as coordenadas centrais UTM 25° 55' 41" S e 49° 11' 56"W (FIGURA 1). O município tem 671,93 km<sup>2</sup>, e situa-se a sudoeste na Região Metropolitana de Curitiba (PR). O clima da região, conforme a classificação de Köppen (1931) é do tipo subtropical úmido mesotérmico (Cfb). A pluviosidade média anual é de aproximadamente 1.500 mm, onde os meses mais chuvosos são janeiro e fevereiro, no entanto a precipitação é abundante em praticamente todos os meses do ano. A temperatura média anual de 16,4°C, com frequentes geadas durante o inverno (Maack, 1968; Ferreira, 1999; Rocha, 2005).

A vegetação está sob o domínio do Bioma Mata Atlântica. Em sua formação florestal ocorre a Floresta Ombrófila Mista Aluvial (Mata Ciliar), em margens de rios e áreas sujeitas a inundações; Floresta Ombrófila Mista Montana (Mata com Araucária), com povoamentos da espécie *Araucaria angustifolia* e suas variações; e nos topos dos morros da Serra do Mar ocorre a Floresta Ombrófila Densa Altomontana, desenvolvendo-se sobre solos muito rasos (SEMA, 2002; IBGE, 2012). A área do município corresponde a 9,24% da Unidade de Conservação Estadual APA de Guaratuba (SEMA, 2006; 2010).

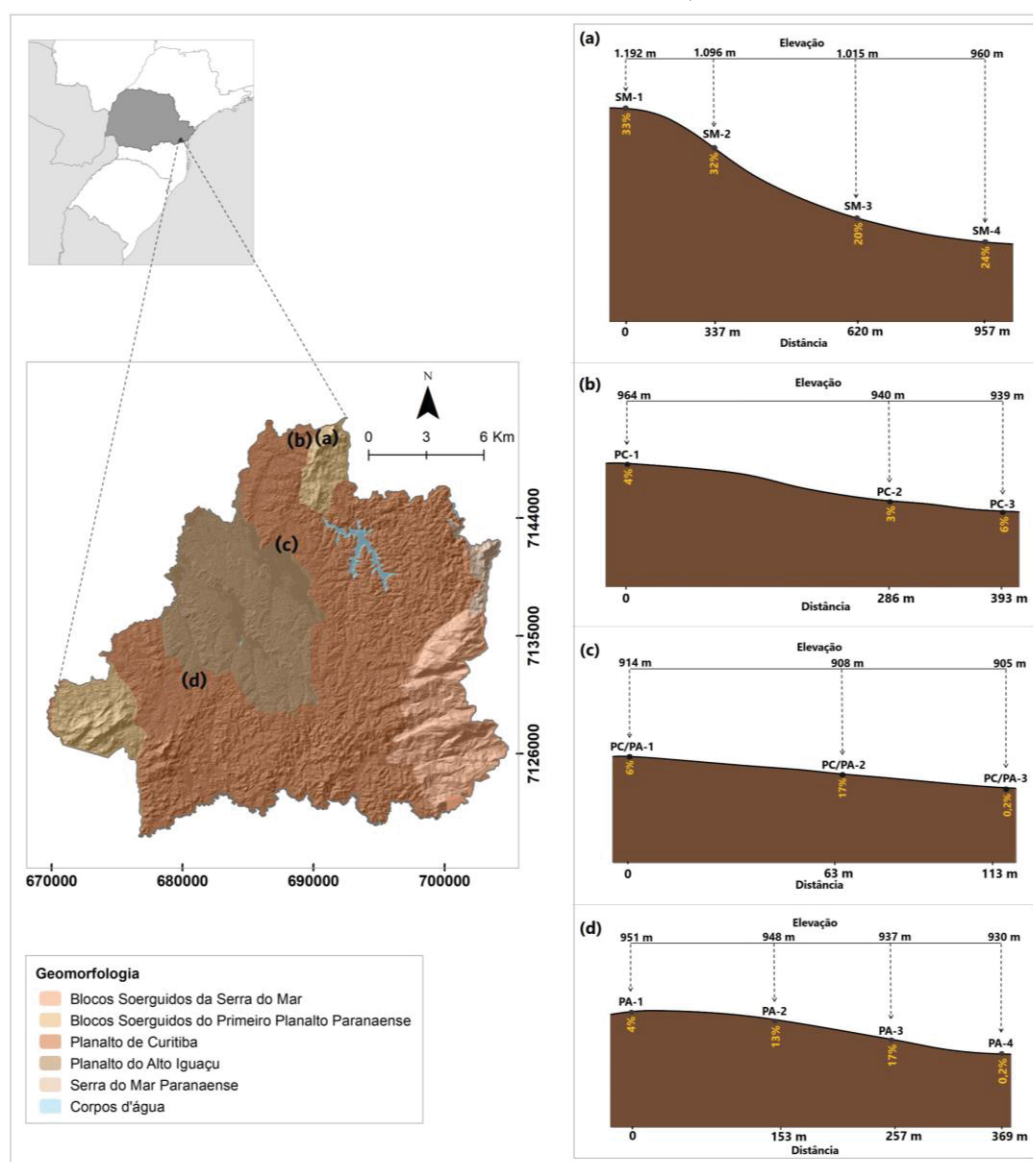
No aspecto orográfico a região está inserida na zona de eversão pela denudação do Terciário e Pleistoceno; com planícies suavemente onduladas entre 850 e 950 m chamada também de peneplanície, e extensas várzeas do Holoceno (ao lado na orla da Serra do Mar) (Maack, 1968). A altitude na região varia de 392 a 1.668 m. Na região leste do município está localizada a maior declividade, influenciada pela formação da Serra do Mar. Ao centro encontra-se formas arredondadas com baixas colinas e uma ampla planície de inundação. Nesta região ocorrem as nascentes do rio da Várzea que contribui para o rio Negro, afluente do rio Iguaçu. Ao sul, a área do município é limitada pela bacia do rio Negro que



confere um relevo acidentado. Nas porções sudoeste e norte-noroeste também ocorrem formas de relevo acidentadas.

O componente geológico é formado por rochas metamórficas do Complexo Gnáissico Migmatítico (migmatitos estromatíticos, *augen*-gnaisses, gnaisses graníticos, gnaisses fitados, rochas meta-ultrabásicas, metabasitos, anfibolitos e quartzitos); por depósitos sedimentares (argilitos, arcósios, depósitos rudáceos e margas) da Formação Guabirotuba; por maciços graníticos da Suíte álcali-granitos de diversas dimensões (desde pequenos *stocks* até os batólitos graníticos Agudos do Sul); e ainda depósitos aluvionares holocênicos constituídos por aluviões, colúvios e depósitos de tálus (Mineropar, 2001; ITCG, 2018).

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL – PR, E DOS LOCAIS DE AMOSTRAGEM DAS TOPOSSEQUÊNCIAS ESTUDADAS.



Pontos observados nas topossequências da Serra do Mar (a), Planalto de Curitiba (b), transição entre os Planaltos de Curitiba e do Alto Iguaçu (c), e Planalto do Alto Iguaçu (d). FONTE: O autor (2020).

## 2.4.2 COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS

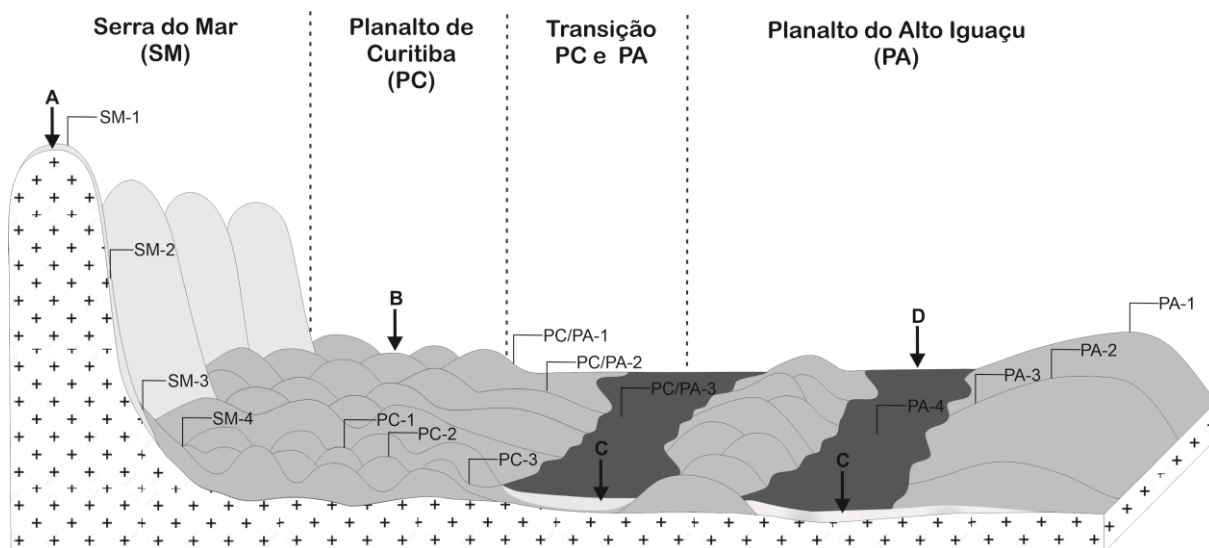
As áreas de estudo no município de Tijucas do Sul estão inseridas na folha geomorfológica Curitiba, conforme o Atlas Geomorfológico do estado do Paraná (Santos et al., 2006), em escala base 1:250.000, na Unidade morfoestrutural – Bacia Sedimentar Cenozóica e Depressões Tectônicas e Cinturão Orogênico do Atlântico; e nas unidades morfoesculturais: Planícies e PPP e Rampas de Pré-Serra e Serras e Morros Isolados.

Para identificar as relações solo-relevo entre as regiões fisiográficas da SM e PPP, foram escolhidos três compartimentos geomorfológicos (FIGURA 2), descritos por Santos et al. (2006):

- i) compartimento Blocos Soerguidos da Serra do Mar – que tem uma dissecação muito alta, com um relevo forte ondulado a montanhoso, predominando topos alongados e em cristas, vertentes retilinizadas e vales em “V” bem encaixados, modelados na composição geológica Suíte Álcali-Granitos;
- ii) compartimento do Planalto de Curitiba – de média dissecação o relevo vai de suave ondulado até forte ondulado com topos aplainados e também alongados, e ainda vertentes convexas e vales em forma de “V”, formados sobre o Complexo Gnáissico Migmatítico e;
- iii) compartimento Planalto do Alto Iguaçu, apresenta dissecação baixa, e relevo suave ondulado, com áreas de topos alongados e aplainados com vertentes convexas que se associam a planícies, possuem vales em forma de “V” abertos, também formados em rochas do Complexo Gnáissico Migmatítico e em sedimentos da Formação Guabirotuba.

A fim de elucidar a gênese dos solos, foi segmentada uma topossequência representativa, além de perfis complementares (APÊNDICE I), nos três compartimentos geomorfológicos, dentro dos limites do município de Tijucas do Sul. E ainda, amostrou-se uma topossequência representando a transição entre o PC e o PA, para demonstrar as variações nos processos de formação de solos. Em diferentes posições das topossequências foram amostrados e descritos perfis de solos (FIGURA 2), para assim conhecer as relações solo-relevo.

FIGURA 2 – BLOCO DIAGRAMA ILUSTRANDO OS TRÊS COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS QUE OCORREM NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL – PR, COM A LOCALIZAÇÃO DOS 14 PERFIS ESTUDADOS.



SM: Serra do Mar, com solos formados de rochas do embasamento cristalino (A). PC: Planalto de Curitiba, com solos formados a partir de rochas sedimentares e gnaisses (B). PA: Planalto do Alto Iguaçu, com depósitos sedimentares da Formação Guabirotuba (C) subjacentes a camadas de solos formados a partir de depósitos orgânicos (D). FONTE: O autor (2020).

#### 2.4.3 OBSERVAÇÕES DE CAMPO E ANÁLISES DE SOLO

Após segmentar topossequências representativas para o estudo nas unidades geomorfológicas SM, PC, PA e na transição PC/PA, foram amostrados 14 perfis de solos (FIGURA 2) para a realização da descrição morfológica conforme Santos et al. (2013) e IBGE (2007).

As amostragens foram realizadas conforme as variações de relevo e de características do solo tais como profundidade do perfil, espessura e cor dos horizontes. Quando possível foram amostrados perfis em cortes de barranco, ou realizada tradagem para a descrição e coleta de amostras para análises de granulometria e química de rotina.

Os métodos analíticos utilizados nas amostras foram descritos por Teixeira et al. (2017). As amostras coletadas foram secadas em estufa a 40°C, moídas e posteriormente peneiradas em malha com abertura de 2 mm, para obtenção da fração terra fina. A análise granulométrica seguiu o método do hidrômetro de Bouyoucos, utilizando solução dispersante de hidróxido de sódio (NaOH) 4 g L<sup>-1</sup> e hexametáfosfato de sódio (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> 10 g L<sup>-1</sup> (Calgon) (Gee e Bauder, 1986). Para as

amostras com teor de matéria orgânica maior do que 5% foi realizado o tratamento com peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

As análises químicas incluem as seguintes determinações: pH do solo em água (1:2,5);  $\text{Al}^{3+}$  extraído em solução KCl 1 mol  $\text{L}^{-1}$  e determinado por titulação do extrato com NaOH 0,025 mol  $\text{L}^{-1}$ ; a acidez potencial (H+Al) extraída em acetato de cálcio 0,5 mol  $\text{L}^{-1}$  pH 7,0, sendo determinada por titulação com NaOH 0,025 mol  $\text{L}^{-1}$ ;  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  extraído por solução de KCl 1 mol  $\text{L}^{-1}$ , determinado por espectrometria de absorção atômica;  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$  pela solução extratora Mehlich-1, determinadas por espectrofotômetro de chama (Teixeira et al., 2017). A determinação do carbono total do solo e nitrogênio foi realizada via combustão seca no aparelho VARIO EL III ELEMENTAR.

Os atributos calculados foram: soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC), saturação de bases (V%), saturação por Al trocável (m%), atividade da argila (CTC argila), sem correção para carbono. Os resultados das análises laboratoriais e da descrição morfológica foram utilizados para a classificação de solos segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Santos et al., 2018). No campo para classificar o grau de decomposição do material orgânico foi utilizado o método de Von Post (Stanek e Silc, 1977; Santos et al., 2018).

Após a classificação de solos nas topossequências, os perfis foram confrontados com o Mapa de Solos do Estado do Paraná, em escala 1:250.000 (Bhering et al., 2008), afim de constatar se as unidades de mapeamento (UM) representam as classes de solos identificadas a campo neste estudo.

No atual Mapa de Solos do Estado do Paraná, as definições taxonômicas estão de acordo com a 2ª edição do SiBCS. As UM's constituem associações de solos, em que o componente com maior representatividade em extensão na paisagem, determina a simbologia da UM.

## 2.5 RESULTADOS

### 2.5.1 CLASSES DE SOLOS NOS COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS

Nas topossequências nas áreas entre a SM e o PA foram identificadas a ocorrência de cinco classes de solos no 1º nível categórico, a saber: Cambissolo, Gleissolo, Neossolo, Nitossolo e Organossolo.

Na topossequência representativa do compartimento da SM (FIGURA 3), com aproximadamente 1.213 m de comprimento, foram descritos e analisados do topo (divisor de águas) até o sopé os perfis identificados por SM-1, SM-2, SM-3 e SM-4 (TABELA 1).

O SM-1 situado no topo da vertente, com uma altitude de 1.192 m em relevo forte ondulado (declividade de 33%), apresentou solo muito raso (40 cm de profundidade) assentado diretamente sobre a rocha (gnaisse), com afloramentos rochosos no seu entorno.

Neste perfil, o horizonte superficial com cor cinzenta muito escura (7,5 YR 3/1, úmida), apresentou teor de C orgânico total elevado (11,98%), em ambiente bem drenado, sendo assim considerado um horizonte orgânico (horizonte O hístico), com textura argilosa (44% de argila) (TABELA 1). O material orgânico foi classificado como hêmico conforme a escala de decomposição de Von Post (Stanek e Silc, 1977; Santos et al., 2018).

A alta relação silte/argila (0,9) identifica um menor grau de intemperismo. Quimicamente o perfil foi classificado como fortemente ácido ( $\text{pH}_{\text{água}}$  igual a 4,3) com expressivo teor de  $\text{Al}^{+3}$  ( $5,66 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ); resultando na baixa saturação por bases (valor  $V < 50\%$ ). No entanto, apresentou argila de atividade alta (CTC de  $87 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de argila, sem correção para carbono) associada a uma alta capacidade de troca de cátions a pH 7,0 (CTC a pH 7,0 igual a  $38,2 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ).

Todos os atributos descritos anteriormente classificam esse perfil como Organossolo Fólico Hêmico lítico (OOy) (Santos et al., 2018) (TABELA 5), comum nas regiões altimontanas e com boa drenagem.

No perfil SM-2, situado no terço superior da vertente, a uma altitude de 1.096 m, em uma condição de relevo forte ondulado (declividade de 32,3%), observou-se a ocorrência de solo jovem, de horizonte superficial A moderado com espessura de 20 cm. Subsequentemente, há o contato com a camada R que apresenta alguns

fendilhamentos possibilitando a passagem de raízes e água, o que denota um contato lítico fragmentário.

O horizonte A com teor de C orgânico total de 3,4%, apresentou cor bruno-forte (7,5 YR 4/6, úmida), e textura muito argilosa (mais de 60% de argila). O solo apresentou-se fortemente ácido com  $\text{pH}_{\text{água}}$  menor que 5 no horizonte A; caráter distrófico (valor  $V < 50\%$ ); baixa CTC a pH 7,0 (de 15,4  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ), e consequentemente baixa atividade da argila ( $\text{CTC} < 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de argila, sem correção para carbono).

Por apresentar contato lítico em uma profundidade menor que 50 cm a partir da superfície, com ausência de horizonte B diagnóstico, o perfil foi classificado como Neossolo Litólico Distrófico fragmentário (RLd) (TABELA 5).

No SM-3 foi observado solo mais desenvolvido, com espessura do horizonte B maior do que 30 cm de espessura, a uma altitude de 1.015 m, em relevo ondulado a forte ondulado (20% de declividade), localizado no terço inferior da encosta. Neste perfil o horizonte superficial relativamente escuro de cor brunada (7,5 YR 4/4, úmida), com 4,3% de C, indicou ser um horizonte A moderado, argiloso (57% de argila) de estrutura moderada média em blocos subangulares (APÊNDICE I) com espessura de 15 cm. Pela análise química o horizonte A apresentou argila de atividade alta (CTC igual a 29  $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de argila, sem correção para C), moderadamente ácido ( $\text{pH}_{\text{água}}$  5,4), com caráter distrófico (valor  $V$  de 45%).

O horizonte subsuperficial de cor bruno-forte (7,5 YR 5/6, úmida), textura muito argilosa (69% de argila), com relação textural B/A menor do que 1,5 (relação B/A igual a 1,2), estrutura forte média em blocos angulares, apresentou cerosidade moderada e comum caracterizando o horizonte diagnóstico B nítico. Com menor saturação por bases do que o horizonte subjacente (valor  $V$  de 26,14%), demonstrou-se fortemente ácido ( $\text{pH}_{\text{água}}$  5,0). Sem a ocorrência de policromia no perfil, e com horizonte B nítico assume a classificação de Nitossolo Háplico Distrófico típico (NXd) (TABELA 5).

No sopé da encosta, com cota altimétrica de 960 m em uma condição de relevo forte ondulado (declive de 24%), o SM-4 relevou horizontes Ab e Bb enterrados (sufixo b), com estrutura em blocos subangulares a angulares dura e firme (APÊNDICE I), e cor vermelho-amarelados (5 YR 5/6 e 5 YR 4/6, úmida, respectivamente nos horizontes Ab e Bb), assim como o horizonte C (5 YR 5/8, úmida).

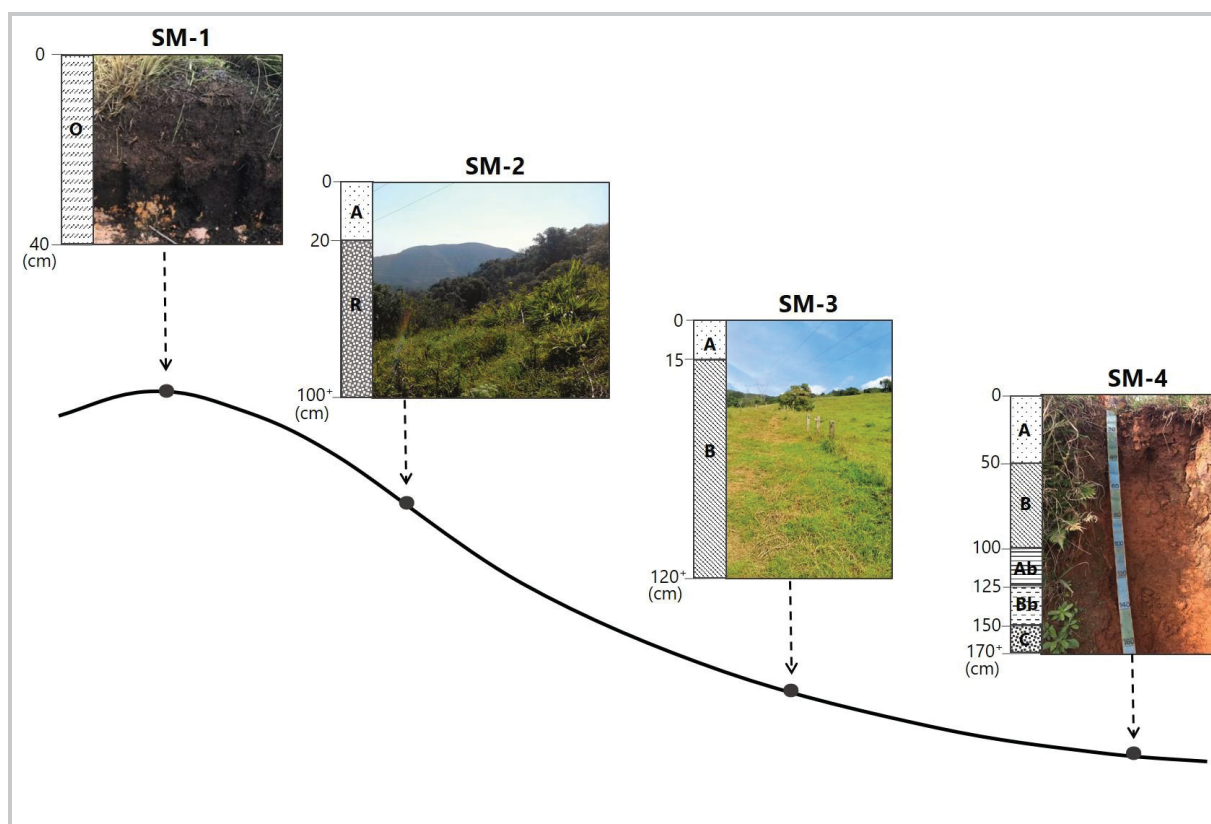


Sobrejacente a estes horizontes enterrados, o perfil apresentou um horizonte superficial A moderado (2,6% de C) praticamente neutro com  $\text{pH}_{\text{água}}$  de 6,6; não apresentando teor de  $\text{Al}^{3+}$  trocável. No horizonte subsuperficial foi constatada a ocorrência de cerosidade moderada e comum, considerado como B diagnóstico nítico. Ambos horizontes A e B são bruno avermelhados (5 YR 5/4, úmida), com elevada saturação por bases de 79% e 56% consecutivamente, identificando um caráter eutrófico.

Em uma posição na paisagem acima do perfil SM-4, foi observado um perfil complementar com semelhantes características morfológicas, próximo a evidências de um sistema de cone de dejeção. Em todo o perfil os valores de argila foram maiores que 65%, sendo considerado como muito argiloso.

Com atributos químicos e granulométricos semelhantes ao perfil anterior, porém, por ser eutrófico o perfil foi classificado como Nitossolo Háplico Eutrófico típico (NXe) (TABELA 5).

FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS ESTUDADOS NA TOPOSSEQUÊNCIA DA SERRA DO MAR (SM).



FONTE: O autor (2020).

TABELA 1 – CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DOS PERFIS DE SOLOS ESTUDADOS, NO COMPARTIMENTO GEOMORFOLÓGICO DA SERRA DO MAR (SM).

Perfil	Elevação	Declive	Hz.	Prof.	Cor (Úmida) <sup>1</sup>	Cerosidade <sup>2</sup>	Cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup>				Ativ. Arg.	pH <sub>água</sub>	Valor m			Argila	Silte/Argila	
							Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	V			C	Areia	Silte			
																		(%)
SM-1	1.192	33	O	0-40	7,5 YR 3/1	-	5,7	1,4	38,2	87,0	4,3	80,2	4	12	16	40	44	0,9
SM-2	1.096	32	A	0-20	7,5 YR 4/6	-	1,6	3,0	15,4	24,8	4,8	34,5	20	3	11	27	62	0,4
			R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
				100+														
SM-3	1.015	20	A	0-15	7,5 YR 4/4	-	0,1	7,5	16,5	29,0	5,4	1,3	45	4	20	23	57	0,4
			B	-	7,5 YR 5/6	mod/com	1,2	2,8	10,6	15,3	5,0	30,2	26	2	13	18	69	0,3
				120+														
SM-4	960	24	A	0-50	5 YR 5/4	-	0	9,5	12,0	17,6	6,6	0	79	3	68	17	15	0,3
			B	-100	5 YR 4/4	mod/com	0,1	5,3	9,4	13,0	5,6	1,5	57	1	72	14	14	0,2
			Ab	-125	5 YR 5/6	-	1,0	3,3	11,6	15,5	4,9	22,5	28	1	75	12	13	0,2
			Bb	-150	5 YR 4/6	-	0,9	2,6	10,3	14,2	4,8	26,3	25	1	73	15	12	0,2
			C	-	5 YR 5/8	-	0,6	2,6	8,4	12,6	4,9	18,0	31	1	67	18	15	0,3
				170+														

Cor (úmida)<sup>1</sup>: Matiz valor/croma. Cerosidade<sup>2</sup>: Grau – moderada (mod); Quantidade – comum (com). SB: Soma de bases trocáveis. CTC: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. Valor m: Saturação por Al<sup>3+</sup>. V: Saturação de bases. C: Carbono total (método de combustão seca – CHNS/O). FONTE: O autor (2020).



No Complexo Gnáissico Migmatítico, a topossequência do PC estendeu-se por cerca de 388 m, onde foram descritos e analisados os perfis PC-1, PC-2 e PC-3 (FIGURA 4), com dados analíticos e morfológicos apresentados na TABELA 2.

Nesta topossequência, os perfis localizados em uma condição topográfica suave ondulada (declividade entre 3 a 6%) expressaram maior profundidade, inclusive com os horizontes superficiais mais espessos do que os perfis observados na SM (TABELA 1).

Os perfis demonstraram teores de C orgânico total em superfície, maiores que 3% e teores de argila acima de 65%, considerados muito argilosos; com baixa saturação por bases (valor  $V < 50\%$ ) junto a valores e cromas  $\leq 4$  classificados como A húmicos. Estes horizontes (A1 e A2) demonstraram alta atividade da argila ( $CTC > 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de argila, sem correção para C).

Na descrição morfológica dos perfis PC-1 e PC-2, foi observada a presença de cerosidade forte e abundante no entorno dos agregados dos horizontes subsuperficiais. Com espessura mínima de 35 cm, os horizontes B de ambos os perfis demonstraram estrutura em blocos subangulares grande a muito grande de grau forte (APÊNDICE I), sendo identificados com horizonte diagnóstico B nítico.

De modo geral, os horizontes dos perfis PC-1 e PC-2 são fortemente ácidos com  $\text{pH}_{\text{água}}$  entre 4,3 a 5,3. Apresentaram uma alta saturação por  $\text{Al}^{+3}$  (valor  $m > 50\%$ ) principalmente nos horizontes superficiais A1.

Os perfis são bem drenados, com espessura do horizonte A2 maior do que 10 cm, de cor preta (7,5 YR 2.5/1, úmida), com *peds* mais escurecidos que os horizontes A1 sobrejacentes (A1 bruno-escuro no PC-1 e, A1 bruno muito escuro no PC-2), essas características evidenciam uma morfologia semelhante à dos horizontes sômbricos (SiBCS; Santos et al., 2018).

Fragmentos de quartzo na fração cascalho foram verificados no horizonte BC do PC-2. Com horizontes B diagnósticos níticos, de coloração brunada (predominando no matiz 7,5 YR), e horizontes A húmicos, os perfis PC-1 e PC-2 foram classificados como Nitossolos Brunos Distróficos húmicos (NBd), com caráter sômbrico.

Próximo a um curso d'água (altitude de 939 m), o PC-3 apresentou drenagem moderada a imperfeita com horizonte de subsuperfície manifestando cor acinzentada em suas faces estruturais (estrutura forte grande a muito grande, em

blocos subangulares e angulares – APÊNDICE I), com notação de cor bruno muito claro-acinzentado (10YR 8/2, úmida), e mosqueados bruno-forte (7,5YR 5/8, úmida).

Com espessura maior do que 15 cm, textura franco argilosa (37% de areia) e fragmentos de quartzo, o horizonte C atendeu aos requisitos de glei dentro de 150 cm, abaixo do horizonte transicional AC de cor bruno-acinzentado muito escuro quando úmido (10YR 3/2), e mosqueado cinzento claro (10YR 7/1, úmida); seguido dos horizontes A1, A2 e A3 caracterizados como húmicos.

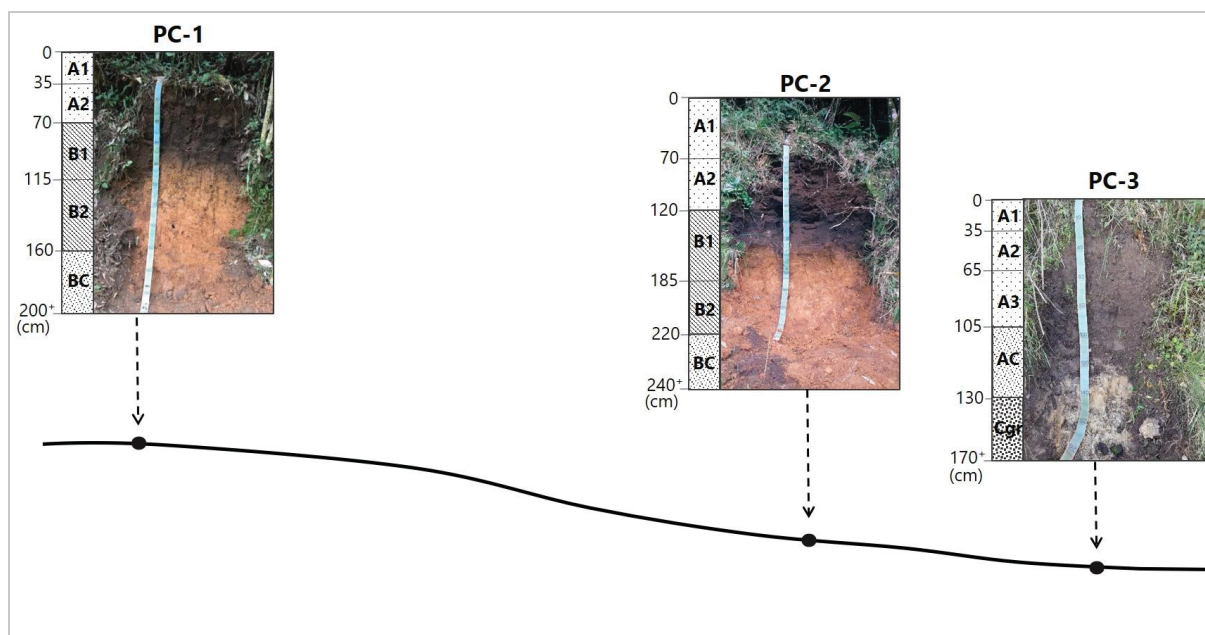
Quanto a granulometria, o horizonte A1 apresentou textura muito argilosa (70% de argila), e os horizontes A2, A3 e AC com mais de 45% de argila, foram agrupados como argilosos (TABELA 2).

No horizonte Cgr foi percebido um aspecto brilhoso em grãos pequenos de cor cinza-escura, provavelmente devido a composição por minerais primários facilmente intemperizáveis, como a mica.

No aspecto químico o perfil é extremamente ácido ( $\text{pH}_{\text{água}} < 4,3$ ), com teores de  $\text{Al}^{+3}$  acima de  $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  associado a uma baixa saturação por bases (valor  $V < 50\%$ ), de caráter alumínico. Com CTC entre 15 a  $20 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , a CTC da argila foi superior a  $27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , caracterizando uma argila de alta atividade (Ta) no conjunto dos horizontes.

Com a condição química descrita, combinada as características morfológicas de cor e presença de mosqueados que evidenciam um hidromorfismo, o perfil PC-3 correspondeu a classificação de Gleissolo Melânico Ta Alumínico húmico (GMva) (TABELA 5).

FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS ESTUDADOS NA TOPOSSEQUÊNCIA DO PLANALTO DE CURITIBA (PC).



FONTE: O autor (2020).

TABELA 2 – CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DOS PERFIS DE SOLOS ESTUDADOS, NO COMPARTIMENTO GEOMORFOLÓGICO DO PLANALTO DE CURITIBA (PC).

Perfil	Elevação (m)	Declive (%)	Hz.	Prof. (cm)	Cor (Úmida) <sup>1</sup>	Cerosidade <sup>2</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	Ativ. Arg.	pH <sub>água</sub>	Valor m	V	C	Areia	Silte	Argila	Silte/Argila
(%)																		
(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )																		
PC-1	964	4	A1	0-35	7,5 YR 3/2	-	4,6	0,9	22,3	32,3	4,6	83,0	4	5	22	9	69	0,1
			A2	-70	7,5 YR 2,5/1	-	3,8	0,5	21,8	32,1	4,7	89,4	2	4	25	7	68	0,1
			B1	-115	7,5 YR 5/4	fo/abu	2,1	0,5	7,4	10,1	4,7	81,9	6	1	24	3	73	0,0
			B2	-160	7,5 YR 4/6	fo/abu	0,2	0,3	5,4	7,3	5,9	36,0	6	1	21	5	74	0,1
			BC	-200+	7,5 YR 5/6	fo/abu	0,4	0,8	6,6	8,6	4,9	31,2	13	1	18	6	76	0,1
PC-2	940	3	A1	0-70	7,5 YR 2,5/2	-	4,2	0,3	23,0	33,0	4,6	93,4	1	5	21	9	70	0,1
			A2	-120	7,5 YR 2,5/1	-	3,9	0,4	20,4	29,9	4,7	90,7	2	5	23	9	68	0,1
			B1	-185	7,5 YR 5/8	fo/abu	1,5	0,3	6,9	9,4	4,5	82,9	5	1	21	5	74	0,1
			B2	-220	5 YR 5/8	fo/abu	0,4	0,1	5,6	7,5	5,0	82,0	2	1	20	5	75	0,1
			BC	-240+	5 YR 5/8	fo/abu	0,2	0,4	4,6	6,0	5,1	37,5	9	1	19	5	76	0,1
PC-3	939	6	A1	0-35	10YR 3/3	-	5,1	1,4	20,7	29,7	3,8	79,0	7	4	14	16	70	0,2
			A2	-65	10YR 3/4	-	4,4	1,3	20,5	41,3	4,2	76,6	7	3	31	19	50	0,4
			A3	-105	10YR 2/2	-	4,7	1,0	19,9	39,4	4,2	81,9	5	3	31	19	50	0,4
			AC	-130	10YR 3/2	-	5,8	1,0	15,4	31,3	4,2	85,8	6	2	35	16	49	0,3
			[mosqueado 10YR 7/1]															
Cgr	-170+		[mosqueado 10YR 8/2]															
			[mosqueado 7,5YR 5/8]															

Cor (úmida)<sup>1</sup>: Matiz valor/croma. Cerosidade<sup>2</sup>: Grau – forte (fo); Quantidade – abundante (abu). SB: Soma de bases trocáveis. CTC: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. Valor m: Saturação por Al<sup>3+</sup>. V: Saturação de bases. C: Carbono total (método de combustão seca – CHNS/O). FONTE: O autor (2020).

A topossequência na transição do PC/PA inserida na unidade litológica que corresponde a sedimentos recentes holocênicos, apresentou aproximadamente 110 m de comprimento, onde foram descritos e analisados os perfis PC/PA-1, PC/PA-2 e PC/PA-3 representados na FIGURA 5 (TABELA 3).

Nesta topossequência, o PC/PA-1 com cota altimétrica de 914 m, e relevo suave ondulado (declive de 6%) apresentou horizontes superficiais espessos, chegando até 70 cm de profundidade no perfil (A1 + A2).

Os horizontes A1 de cor bruno-escuro (10 YR 3/3, úmida), e A2 bruno (10 YR 4/3, úmida) de textura argilosa (mais de 55% de argila) e teor de C maior do que 6 g kg<sup>-1</sup>, porém com saturação por bases inferior a 65%, foram identificados como A húmico. Estes horizontes superficiais possuem argila de atividade alta (CTC > 27 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> de argila).

Há um pequeno incremento de argila da superfície para a subsuperfície (66% de argila no horizonte B; relação textural B/A de 0,06), suficiente apenas para revestir os agregados do horizonte B (cor úmida vermelho-amarelado, 5 YR 4/6) conferindo cerosidade forte e abundante, classificando o horizonte subsuperficial B como nítico.

O perfil PC/PA-1 possui caráter fortemente ácido (pH<sub>água</sub> entre 4,3 - 5,3), com alta saturação por Al<sup>+3</sup>, e baixa saturação por bases.

Entre seus horizontes A2 e B (em aproximadamente 85 cm de profundidade) constatou-se a presença de resquícios de feldspato em maior quantidade, e grânulos de quartzo, em uma espessura menor do que 5 cm (fração cascalho). Esta mesma característica foi observada em um perfil complementar, a uma distância de cerca de 10 Km.

Conforme suas condições químicas, granulométricas e horizonte diagnóstico B nítico, o perfil foi classificado como Nitossolo Bruno Distrófico húmico (NBd).

Em uma posição intermediária na topossequência, com altitude de 908 m e relevo ondulado (declividade de 17%) o PC/PA-2 apresentou um horizonte superficial A1 bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmida), e A2 bruno muito escuro (10 YR 2/2, úmida), com 7 e 6% de C orgânico total, nesta ordem, textura argilosa, assim classificado como húmico. Nos mesmos horizontes a atividade da fração argila foi considerada alta (TABELA 3).

O horizonte Bi em recente desenvolvimento pedogenético, apresentou 34 cm de espessura e cor bruno-amarelado (10 YR 5/8, úmida). Junto a relação silte/argila

menor que 0,6; o horizonte B apresenta feições morfológicas semelhantes às do B latossólico, porém não atende a espessura mínima (50 cm) para tal.

Com textura argilosa, o perfil possui  $\text{pH}_{\text{água}}$  entre 4,7-4,9, fortemente ácido e valor V inferior a 50%, caráter distrófico.

O perfil PC/PA-2 com horizonte diagnóstico Bi e características latossólicas, foi identificado como um Cambissolo Húmico Distrófico latossólico (CHd). Cabe ressaltar a ocorrência deste Cambissolo em uma área transicional, entre solos com distintos desenvolvimentos pedogenéticos.

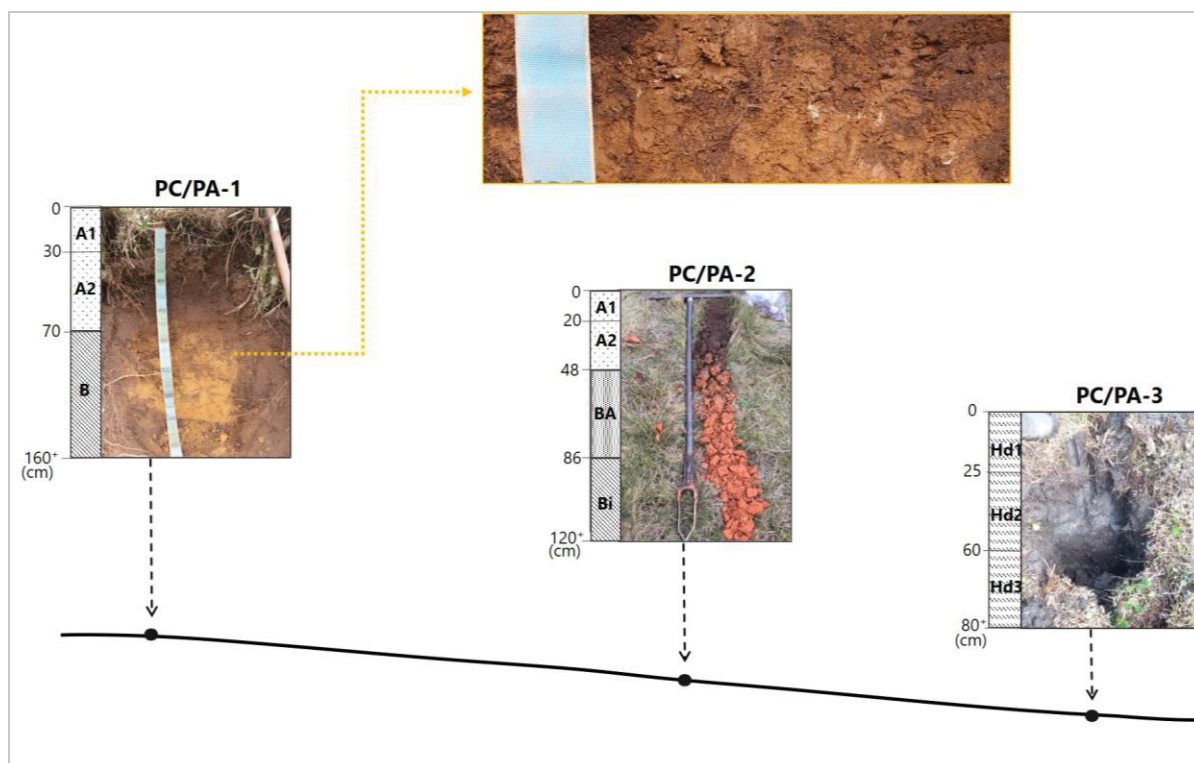
O perfil PC/PA-3 situa-se na área de várzea do PA, em relevo plano (0,2% de declividade), altitude de 905 m, permanece por quase todo o ano saturado com água.

Constituído por horizontes com mais de  $8 \text{ g kg}^{-1}$  de C orgânico total, e material orgânico classificado como sáprico na Escala de Von Post (Stanek e Silc, 1977), os horizontes superficiais foram classificados como Hd hísticos.

Foram observados três diferentes horizontes Hd, com cor bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmida) no Hd1; cinzento muito escuro (10 YR 3/1, úmida) no Hd2 e; Hd3 preto (10 YR 2/1, úmida). O perfil foi aberto com pá de corte até 80 cm de profundidade onde as camadas orgânicas continuaram.

No PC/PA-3 os teores de  $\text{Al}^{+3}$  ( $\text{Al}^{+3} \geq 4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ) são elevados consolidando uma alta saturação por  $\text{Al}^{+3}$  (valor m > 50%), com valor V < 50%, o que expressa um caráter alumínico. Localizado em ambiente saturado por água com horizontes orgânicos Hd, o perfil foi classificado como Organossolo Háplico Sáprico típico (OXs) (TABELA 5).

FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS ESTUDADOS NA TOPOSSEQUÊNCIA DA TRANSIÇÃO ENTRE OS PLANALTOS DE CURITIBA E DO ALTO IGUAÇU (PC/PA).



FONTE: O autor (2020).

TABELA 3 – CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DOS PERFIS DE SOLOS ESTUDADOS, NA TRANSIÇÃO ENTRE OS COMPARTIMENTOS GEOMORFOLÓGICOS DOS PLANALTOS DE CURITIBA E DO ALTO IGUAÇU (PC/PA).

Perfil	Elevação (m)	Declive (%)	Hz. (cm)	Prof. (cm)	Cor (Úmida) <sup>1</sup>	Cerosidade <sup>2</sup>	Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	Ativ. Arg.	pH <sub>água</sub>	Valor m					Silte (%)	Argila	Silte/Argila
PC/PA-1	914	6	A1	0-30	10 YR 3/3	-	3,7	1,4	18,8	32,2	4,3	72,4	7	5	35	7	58	0,1	0,1
PC/PA-2	908	17	A2	-70	10 YR 4/3	-	3,1	0,4	15,5	26,0	4,5	88,7	3	3	38	3	59	0,1	0,1
PC/PA-3	905	0,2	B	160+	5 YR 4/6	fo/abu	1,0	1,1	7,1	10,8	4,9	47,7	16	1	31	4	65	0,1	0,1
PC/PA-2	908	17	A1	0-20	10 YR 3/2	-	2,4	3,9	24,5	41,7	4,7	37,5	16	7	29	12	59	0,2	0,2
PC/PA-3	905	0,2	A2	-48	10 YR 2/2	-	3,5	1,0	22,3	37,5	4,8	77,2	5	5	31	10	59	0,2	0,2
PC/PA-3	905	0,2	BA	-86	10 YR 3/6	-	2,0	1,1	12,0	20,1	4,9	65,0	9	2	36	4	60	0,1	0,1
PC/PA-3	905	0,2	Bi	120+	10 YR 5/8	-	1,4	0,4	7,4	14,7	4,9	76,5	6	1	36	14	50	0,3	0,3
PC/PA-3	905	0,2	Hd1	0-25	10 YR 3/2	-	3,6	3,7	22,2	36,8	5,0	48,9	17	16	14	26	60	0,4	0,4
PC/PA-3	905	0,2	Hd2	-60	10 YR 3/1	-	6,6	1,6	13,0	19,0	4,7	80,3	12	21	6	25	69	0,4	0,4
PC/PA-3	905	0,2	Hd3	-80+	10 YR 2/1	-	10,6	1,5	34,6	49,8	4,6	87,5	4	15	3	28	69	0,4	0,4

Cor (úmida)<sup>1</sup>: Matiz valor/croma. Cerosidade<sup>2</sup>: Grau – forte (fo); Quantidade – abundante (abu). SB: Soma de bases trocáveis. CTC: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. Valor m: Saturação por Al<sup>3+</sup>. V: Saturação de bases. C: Carbono total (método de combustão seca – CHNS/O). FONTE: O autor (2020).



Já na topossequência do PA na Suíte Álcali-granitos, com em torno de 361 metros de comprimento, foram descritos morfologicamente e coletadas amostras dos perfis PA-1, PA-2, PA-3, e PA-4 representados na FIGURA 6 (TABELA 4).

No PA-1 em uma condição de topo suave ondulado (declive de 4%) com boa drenagem, a 951 m de altitude, foi observado um horizonte superficial vermelho-amarelo (5 YR 5/6, úmida), com 4% de C e 66% de argila sendo identificado como A húmico.

Abaixo deste horizonte A, no horizonte subsuperficial, com 40 cm de espessura e cor vermelho-amarelo (5 YR 5/8, úmida), constatou-se uma cerosidade moderada e comum, deste modo considerado como B nítico.

Na sequência foi descrito um horizonte transicional BC (amarelo-avermelhado; 5 YR 6/6, úmida), com espessura de 35 cm, e logo o horizonte C a 115 cm da superfície.

Os teores de argila acima de 60% do perfil, determinaram uma textura muito argilosa. Os horizontes no PA-1 possuem  $\text{pH}_{\text{água}}$  entre 4,3-5,3 com forte caráter ácido e distrófico (valor  $V < 50\%$ ).

Sem identificar uma variação de cor (policromia), com horizonte B diagnóstico nítico, o PA-1 foi classificado como Nitossolo Bruno Distrófico húmico (NBd) (TABELA 5).

O PA-2, no terço superior da vertente, com 948 m de elevação, em relevo ondulado (13% de declividade), os horizontes superficiais A1 e A2 apresentaram argila de atividade alta ( $> 27 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de argila), até 45 cm de profundidade no perfil; e valores de  $\text{Al}^{+3}$  extraível maiores que  $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ .

Constatou-se nesses horizontes superficiais uma cor bruno-escuro (7,5 YR 3/2, úmida) para o A1, e cinzento muito escuro (7,5 YR 3/1, úmida) no A2; com valores de C de 6% no A1 e 4% no A2; e textura muito argilosa (mais de 60% de argila no perfil), estas características inferem a classificação de A húmico.

No horizonte diagnóstico B, de cor brunada (7,5 YR 4/4, úmida), com 35 cm de espessura, identificou-se revestimentos com aspecto lustroso e brilho graxo nos agregados, constatando uma cerosidade moderada e comum. Neste horizonte nítico e no transicional BC de cor vermelha (2,5 YR 4/8, úmida) ocorreu a presença na fração cascalho de fragmentos de quartzo.

Fortemente ácido e distrófico o PA-2 apresentou maior profundidade se comparado ao PA-1. Logo, também foi classificado como Nitossolo Bruno Distrófico húmico (NBd) (TABELA 5).

O perfil PA-3 foi observado em uma área intermediária ao relevo mais movimentado, adentrando na planície aluvial. Situado em relevo ondulado com declividade de 17%, no terço inferior da vertente.

Assim como os perfis subsequentes, possui horizontes superficiais húmicos, com horizonte A de cor bruno-escuro (7,5YR 3/2, úmida), com 5% de C, e horizonte AB bruno (7,5YR 5/4, úmida) com 2% de C, ambos de textura argilosa. No horizonte A, a CTC da argila é alta ( $T_a$ ) com valor de  $37 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de argila.

Em subsuperfície o horizonte B apresentou estrutura forte grande a muito grande prismática a blocos subangulares; cor bruno-forte (5YR 5/8, úmida); textura argilosa; CTC da argila menor do que  $17 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ ; e espessura igual a 35 cm, o que não satisfaz o critério para B latossólico.

No entanto, o valor da relação silte/argila no horizonte menor do que 0,1 sugere características intermediárias para latossólico. O horizonte também não atendeu aos critérios de cerosidade para B nítico, com grau moderado e pouca quantidade.

Em uma sequência no perfil ocorre um horizonte BC argiloso (56% de argila), com 60 cm de espessura, e notação de cor amarelo-avermelhado (5YR 6/6, úmida). A presença de grânulos de quartzo na fração cascalho foi identificada nos horizontes AB, B, BC e C.

O horizonte C de cor branca (10YR 8/1, úmida), franco argiloso (40% de fração areia e argila, e 20% de silte), e com 40 cm de espessura, indicou uma que há maior participação de minerais do tipo 1:1, sugerindo que a camada esbranquiçada observada no perfil seja um depósito de argila caulínica; camada também observada em um perfil complementar nas proximidades, com horizonte C de espessura maior do que 80 cm (APÊNDICE I).

Com horizonte diagnóstico B incipiente foi classificado como um Cambissolo Húmico Distrófico latossólico (CHd) (TABELA 5).

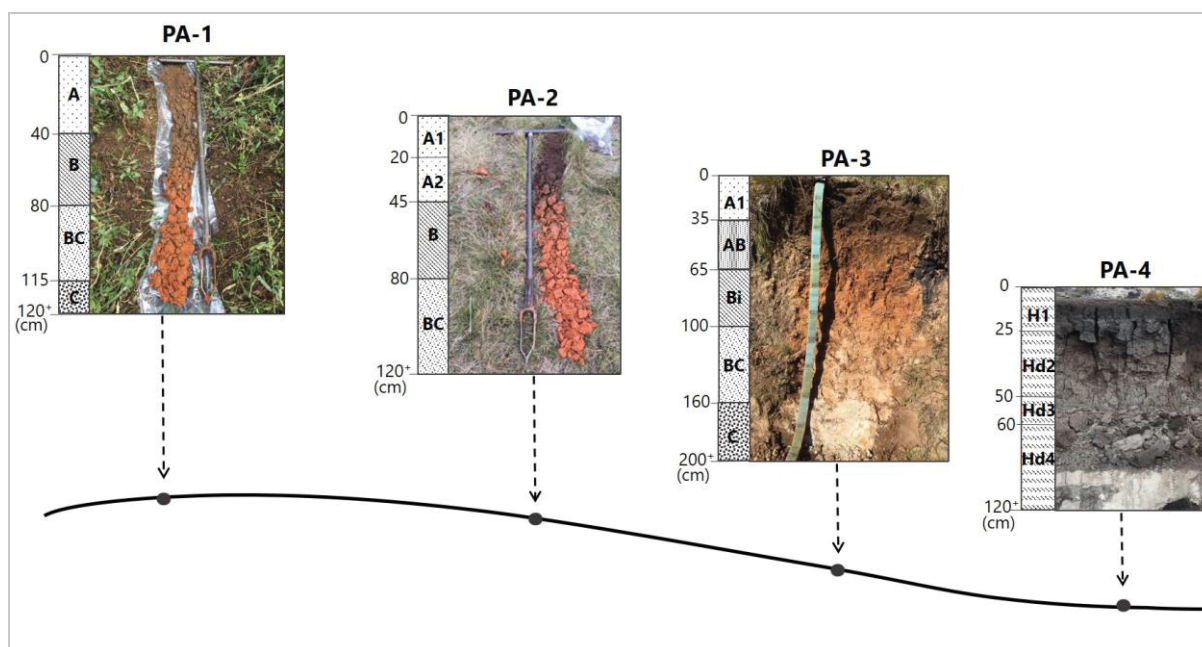
Em ambiente saturado de água com uma condição topográfica plana (0,2% de declividade) a 930 m de altitude, o PA-4 é constituído por material orgânico.

Com teores de C entre 16 e 32%, o perfil é subdividido em quatro horizontes hísticos: H1, cinzento muito escuro (10 YR 3/1, úmida) com mistura de material vegetal pouco decomposto devido estar sob uma vegetação de campo; Hd2, bruno muito escuro (10 YR 2/2, úmida); Hd3, preto (10 YR 2/1, úmida) e; Hd4, bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmida).

Os valores de  $\text{pH}_{\text{água}}$  foram entre 4,7-5,6, com teores de  $\text{Al}^{+3}$  maiores do que  $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ . Os horizontes hísticos no perfil possuem alta atividade da argila (valores de 37 a  $77 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$  de argila, sem correção para carbono). Na análise granulométrica após a queima da matéria orgânica, as amostras apresentaram teores de fração argila acima de 60%.

Apresentando baixa saturação por bases, solo ácido em condição de excesso de umidade, com acentuada decomposição do material orgânico em profundidade, o perfil foi classificado como Organossolo Háplico Sáprico típico (OXs) (TABELA 5).

FIGURA 6 – REPRESENTAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS PERFIS ESTUDADOS NA TOPOSSEQUÊNCIA DO PLANALTO DO ALTO IGUAÇU (PA).



FONTE: O autor (2020).

TABELA 4 – CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA, QUÍMICA E GRANULOMÉTRICA DOS PERFIS DE SOLOS ESTUDADOS, NO COMPARTIMENTO GEOMORFOLÓGICO DO PLANALTO DO ALTO IGUAÇU (PA).

Perfil	Elevação (m)	Declive (%)	Hz.	Prof. (cm)	Cor (Úmida) <sup>1</sup>	Cerosidade <sup>2</sup>	Al <sup>3+</sup>	Cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup>			pH <sub>água</sub>	Valor m	C			Silte	Argila	Silte/Argila
								SB	CTC	Ativ. Arg.			V	C	Areia			
PA-1	951	4	A	0-40	5 YR 5/6	-	3,2	1,1	14,6	22,3	4,4	74,0	8	4	27	8	65	0,1
							1,8	0,6	8,1	13,3	4,5	74,7	8	2	32	7	61	0,1
							0,8	0,5	6,1	9,9	4,8	60,4	9	1	27	11	62	0,2
							-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PA-2	948	13	A1	0-20	7,5 YR 3/2	-	4,5	0,8	23,5	38,9	4,2	85,0	3	6	36	4	60	0,1
			A2	-45	7,5 YR 3/1	-	4,6	0,4	19,6	30,0	4,4	92,2	2	4	31	4	65	0,1
			B	-80	7,5 YR 4/4	mod/com	2,0	0,6	8,7	13,2	4,6	77,7	6	1	31	3	66	0,0
			BC	-120+	2,5 YR 4/8	-	1,1	0,7	6,0	9,3	4,8	61,1	11	1	30	5	65	0,1
PA-3	937	17	A	0-35	7,5 YR 3/2	-	3,2	1,1	17,9	37,2	3,9	75,0	6	5	44	8	48	0,2
			AB	-65	7,5 YR 5/4	-	2,1	0,8	8,5	15,0	4,1	71,5	10	2	38	5	57	0,1
			Bi	-100	5 YR 5/8	mod/po	1,5	0,8	5,7	10,2	4,2	65,6	14	1	36	8	56	0,1
			BC	-160	5 YR 6/6	-	1,5	0,9	5,1	9,1	4,2	61,5	18	0	38	5	57	0,1
PA-4	930	0,2	C	-200+	10 YR 8/1	-	2,2	0,7	4,7	11,8	4,3	74,8	15	0	40	20	40	0,5
			H1	0-25	10 YR 3/1	-	4,7	8,8	47,2	77,8	4,8	53,3	9	29	10	29	61	0,5
			Hd2	-50	10 YR 2/2	-	5,3	5,3	35,9	52,8	4,7	98,9	0	31	5	27	68	0,4
			Hd3	-60	10 YR 2/1	-	3,1	3,0	23,7	35,4	5,6	102,0	0	32	6	27	67	0,4
			Hd4	-120+	10 YR 3/2	-	4,5	4,8	29,7	37,1	4,7	92,9	1	16	2	18	80	0,2

Cor (úmida)<sup>1</sup>: Matiz valor/croma. Cerosidade<sup>2</sup>: Grau – moderada (mod); Quantidade – pouca (po); comum (com). SB: Soma de bases trocáveis. CTC: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. Valor m: Saturação por Al<sup>3+</sup>. V: Saturação de bases. C: Carbono total (método de combustão seca – CHNS/O). FONTE: O autor (2020).

TABELA 5 – CLASSIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DIAGNÓSTICAS DOS PERFIS NAS TOPOSSEQUÊNCIAS OBSERVADAS.

Perfil	Classificação SiBCS <sup>1</sup>	Simbologia	H <sub>z.</sub> superficial	H <sub>z.</sub> diagnóstico subsuperficial	Atributos diagnósticos
SM-1	Organossolo Fólico Hêmico lítico	OOy	<u>SM</u> O	hístico	material orgânico
SM-2	Neossolo Litólico Distrófico fragmentário	RLd	A moderado	-	contato lítico fragmentário
SM-3	Nitossolo Háptico Distrófico típico	NXd	A moderado	nítico	cerosidade
SM-4	Nitossolo Háptico Eutrófico típico	NXe	A moderado	nítico	cerosidade e caráter eutrófico
PC-1	Nitossolo Bruno Distrófico húmico	NBd	<u>PC</u> A húmico	nítico	cerosidade e caráter sômbrico
PC-2	Nitossolo Bruno Distrófico húmico	NBd	A húmico	nítico	cerosidade e caráter sômbrico
PC-3	Gleissolo Melânico Ta Aluminico húmico	GMva	A húmico	glei	caráter aluminico e argila Ta
PC/PA-1	Nitossolo Bruno Distrófico húmico	NBd	<u>PC/PA</u> A húmico	nítico	cerosidade
PC/PA-2	Cambissolo Húmico Distrófico latossólico	CHd	A húmico	incipiente	silte/argila <0,6
PC/PA-3	Organossolo Háptico Sápico típico	OXs	H	hístico	material orgânico
PA-1	Nitossolo Bruno Distrófico húmico	NBd	<u>PA</u> A húmico	nítico	cerosidade e caráter sômbrico
PA-2	Nitossolo Bruno Distrófico húmico	NBd	A húmico	nítico	cerosidade e caráter sômbrico
PA-3	Cambissolo Húmico Distrófico latossólico	CHd	A húmico	incipiente	silte/argila <0,6
PA-4	Organossolo Háptico Sápico típico	OXs	H	hístico	material orgânico

SiBCS: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018). SM: Blocos Soerguidos da Serra do Mar. PC: Planalto de Curitiba. PC/PA: Transição entre o Planalto de Curitiba e o Planalto do Alto Iguaçu. PA: Planalto do Alto Iguaçu. FONTE: O autor (2020).

## 2.5.2 CLASSES DE SOLOS E UNIDADES DE MAPEAMENTO

Conforme a representação cartográfica disponível em escala 1:250.000 (Bhering et al., 2008), a UM constituída por afloramentos rochosos e Neossolo Litólico Hístico – AR2, permite a representação, pelas suas associações, das classes dos RLd (SM-2) (TABELA 6), no entanto a classe dos OOy (SM-1) e dos NXd (SM-3) não são inclusas nesta UM.

O SM-4 classificado como NXe, está na UM LBd3, que assume como inclusão a classe de solo anteriormente denominada de Podzólico Vermelho-Amarelo, atualmente enquadrados como Nitossolos e Argissolos (Bhering et al., 2008).

Na topossequência do PC os perfis descritos no estudo PC-1 e PC-2 como NBd, estão representados pela associação Latossolo Bruno Distrófico típico e Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico - LBd3 (TABELA 6).

A referida UM assume entre suas inclusões a classe dos antigamente identificados como Podzólico Vermelho-Amarelo, que podem corresponder as classes dos Argissolos e Nitossolos.

Entretanto, os perfis não apresentaram relação textural B/A suficiente para satisfazer critérios para a classe dos Argissolos (Santos et al., 2018). O PC-3 com classificação de GMva, não é representado nesta UM, nem mesmo nas suas inclusões.

Os perfis na transição do PC/PA estão inseridos na UM OY3, que considera a ocorrência de Organossolos associados a Cambissolos Háplicos, contudo não estão previstas a formação de Nitossolos na unidade (PC/PA-1, NBd), conforme pode ser observado na TABELA 6.

A UM CXBd1 em que estão localizados os perfis PA-1, PA-2 (ambos NBd), PA-3 (CHd), e PA-4 (OXs) corresponde a classe dos Cambissolos que admite a ocorrência de algumas variações de solos, que vão de Podzólicos Vermelho-Amarelos (inserindo os Nitossolos, conforme SiBCS; Santos et al., 2018), e também inclusões de solos litólicos, em que nestes podem estar inseridos os Organossolos (PA-4, OXs).

TABELA 6 – UNIDADES DE MAPEAMENTO (UM), CONFORME ESCALA 1:250.000. EM QUE ESTÃO INSERIDOS OS PERFIS ESTUDADOS. ADAPTADO DO MAPA DO LEVANTAMENTO DE RECONHECIMENTO DOS SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ: LEGENDA ATUALIZADA.

Perfil	Classificação SiBCS	UM¹	Classes de Solos²	Inclusões
SM-1	OOy	AR2	<u>SM</u> Associação de AFLORAMENTOS DE ROCHA (granitos e quartzitos) + NEOSSOLO LITÓLICO Hístico, álico A proeminente	a) Cambissolo Álico; e
SM-2	RLd		textura argilosa; relevo escarpado e montanhoso; substrato granitos e quartzitos.	b) Latossolo Vermelho-Amarelo Álico.
SM-3	NXd			
SM-4	NXe	LBd3	Associação de LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico, relevo suave ondulado + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico álico, relevo ondulado; substrato migmatitos; ambos A proeminente, textura argilosa.	a) Podzólico Vermelho-Amarelo textura argilosa; b) Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa; e c) Cambissolo A moderado.
PC-1	NBd	LBd3	<u>PC</u> Associação de LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico, relevo suave ondulado + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico álico, relevo ondulado; substrato migmatitos; ambos A proeminente, textura argilosa.	a) Podzólico Vermelho-Amarelo textura argilosa; b) Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa; e c) Cambissolo A moderado.
PC-2	NBd			
PC-3	GMva			
PC/PA-1	NBd	OY3	<u>PC/PA</u> Associação de ORGANOSSOLO MÉSICO Sápico típico + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico álico, A proeminente, textura indiscriminada; substrato sedimentos recentes; ambos com relevo plano.	a) Solos Litólicos; b) Solos Hidromórficos Gleyzados; e c) Solos Aluviais.
PC/PA-2	CHd			
PC/PA-3	OXs			
PA-1	NBd	CXBd1	<u>PA</u> CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico álico, A proeminente, textura argilosa, relevo suave ondulado; substrato migmatitos.	Variações desta unidade: Solos intermediários para Podzólico Vermelho-Amarelo textura argilosa; b) Cambissolo com A moderado, ao invés de proeminente; e c) Solos intermediários para Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa. Constituem inclusões nesta unidade: a) Podzólico Vermelho-Amarelo; e b) Solos Litólicos substratos migmatitos.
PA-2	NBd			
PA-3	CHd			
PA-4	OXs			

UM¹: Unidades de mapeamento conforme Mapa de Solos do Estado do Paraná, legenda atualizada (Bhering et al., 2008). Classes de solos²: Classificação até o 4º nível categórico, de acordo com a 2ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2006); como informações complementares referentes ao 5º e 6º níveis categóricos (tipo de horizonte A, textura, fase de floresta, e relevo) (Santos et al., 1984). FONTE: O autor (2020).



## 2.6 DISCUSSÕES

Ocorreram diversos processos pedogenéticos nos diferentes compartimentos da área de estudo, condicionados pelas feições geomorfológicas. Nos compartimentos estudados da SM, PC, PA e na transição PC/PA a gênese dos solos é influenciada pela posição na paisagem, sendo que os demais fatores de formação (clima, organismos, material originário e tempo) foram similares em cada topossequência, principalmente com relação ao material originário.

A formação dos Organossolos conforme Simonson (1959), Buol et al. (1980), e Pereira et al. (2005) está relacionada, de modo geral, a um conjunto de reações químicas e subprocessos que envolvem a acumulação de materiais orgânicos; a humificação; a decomposição; e também o processo de paludização, em que o relevo e a composição vegetal têm grande influência.

O Organossolo classificado no 2º nível categórico como Fólico, encontrado na topossequência da SM (perfil SM-1), forma-se nestes ambientes de vegetação altomontana devido a menor temperatura média nestas áreas de topo (1.192 m de altitude).

Conforme Pereira et al. (2005) essas condições de clima frio e também úmido, propiciam o melhor desenvolvimento da vegetação e uma atividade microbiológica reduzida, com o consequente acúmulo de serapilheira em superfície.

Para Benites (2012) a menor taxa de decomposição, que contribui para a formação de horizontes com acúmulo de matéria orgânica (MO), está relacionada ao elevado teor de  $Al^{+3}$  extraível, que pela toxidez dificulta a atividade microbiológica nesses solos.

Ressalta-se que o valor de  $Al^{+3}$  em solo orgânico pode ser superestimado, devido não ser adequado utilizar o mesmo procedimento analítico de solos com material mineral para os solos orgânicos (Pereira et al. 2005; Perez et al., 2009).

Nos locais de altitude, o contato lítico com rochas cristalinas dificulta o escoamento livre da água, favorecendo a deposição dos materiais vegetais e formação de horizontes orgânicos (Campos et al., 2017; Silva Neto et al., 2019).



Valladares et al. (2008) descreveram um perfil de solo altimontano com condições topográficas e ambientais similares ao SM-1; com boa drenagem, elevada declividade e contato direto com a rocha, e referindo-se à fragilidade dos Organossolos Fólicos salienta serem dependentes da vegetação que se desenvolve nesse ecossistema; sendo que este solo orgânico também sustenta o crescimento das espécies florísticas no local.

Nos perfis PC/PA-3 e PA-4 a pedogênese dos Organossolos Háplicos é influenciada pela condição geomorfológica (área plana), climática, pela vegetação, e fração mineral mais argilosa.

Em ambientes mal drenados, com déficit de  $O_2$ , ácidos, com teores altos de  $Al^{+3}$ , a atividade microbiológica é reduzida. Desta forma, o processo de decomposição é lento e favorece o acúmulo de material orgânico.

No meio anóxico a atividade anaeróbica dos microrganismos tem baixa eficiência; e com isso há uma lenta mineralização da estrutura primária do material vegetal, produzindo resíduos. Assim acontece a humificação, os resíduos reagem outra vez e se condensam em compostos de estruturas complexas (Paul e Clark, 1996; Pereira et al., 2005).

As substâncias húmicas possuem alta estabilidade no solo por conta da menor diversidade de microrganismos para sua decomposição, e pela ligação com cátions metálicos ou adsorção em minerais argilosos do solo. Eis o motivo para a formação dos Organossolos Háplicos em substratos argilosos (PC/PA-3 e PA-4 com teores de argila > 60% após queima da MO).

Portanto, a humificação pode estar associada a estruturação dos OX, colaborando com o enriquecimento de C na turfa, inibindo a sua emissão na forma de  $CO_2$  (Pereira et al., 2005). A paludização também está envolvida na formação desses Organossolos, e corresponde a acumulação de depósitos orgânicos (turfeiras) em ambientes saturados com água durante o ano inteiro (Kämpf e Curi, 2012).

Foram verificadas camadas caulíníticas (caulim) subjacente ao Organossolo Háplico do PA (PA-4). Em algumas pesquisas já realizadas (Moreira et al., 2019; Biondi e Santos, 2004) foi atribuída a evolução das camadas caulíníticas a um processo do intemperismo de feldspatos a partir da acidificação (dessilicação) do solo por camadas de Organossolos Háplicos sobrepostas as camadas caulíníticas.

No entanto, há formações de camadas caulíníticas fora das áreas de planície aluvial, como no perfil PA-3 (CHd), bem drenado e sem a presença de camadas orgânicas (turfas) sobrepostas a camada caulínítica (APÊNDICE II); supõe-se desta forma que a matéria orgânica possivelmente não está envolvida promovendo a acidificação do meio.

Esses processos requerem uma melhor compreensão sobre a gênese destes minerais depositados na bacia sedimentar de Tijucas do Sul. Ao considerar a geomorfologia na área do município, há uma possível contribuição de material erodido da SM (Aumond, 1993; ITCG, 2018; Moreira et al., 2019).

O que ainda não está explicado é em qual momento houve a formação do material caulínítico, se este material foi pré-intemperizado no embasamento cristalino, e pode ter sido transportado já como caulinita, acumulando-se por eventos de deposição na bacia sedimentar de Tijucas do Sul. Ou será que o material foi caulinizado após a deposição por um processo ainda não bem compreendido.

A interrogação que fica é em qual condição o material caulínítico foi (trans)formado e, qual (is) processo (s) responsável (is). Se as camadas de horizonte orgânico sobrejacentes acidificaram o solo ocasionando a dessilicação (Aumond, 1993; Biondi & Santos, 2004; Moreira et al., 2019), como originou-se as camadas caulíníticas das áreas sem a presença de matéria orgânica (turfa). Sem uma explicação exata sobre a gênese, maiores estudos são necessários para elucidar como ocorreu a formação desse material nessas regiões.

Na SM com acentuada inclinação, e uma condição geomorfológica côncava-divergente, a água tende ao escoamento lateral contribuindo com a maior intensidade de fluxos de material, e insuficiente grau de intemperismo.

Nestes locais propícios à processos erosivos em que predomina ações da morfogênese, a pedogênese não têm condições de se desenvolver, e assim são encontrados afloramentos rochosos e solos rasos ( $\leq 50$  cm de profundidade), como a classe dos Neossolos Litólicos (SM-2).

Com profundidade limitada pelo contato lítico muito próximo à superfície, embora com fraturas que permitem a entrada de raízes, estes solos não apresentam potencial para uso (Pedron et al., 2009).

Nos diferentes compartimentos, a dinâmica da água com maior tendência em movimentar-se verticalmente no solo, com relevo menos declivoso, a pedogênese é mais ativa e favorece a ocorrência de solos mais desenvolvidos, os Nitossolos.

Em virtude da maior infiltração de água ocorrem reações químicas responsáveis por alterar a cor, textura, composição e estruturação no solo. Por conseguinte, os processos de transformação das partículas de silte em argila são mais intensos e condicionam um maior grau de intemperismo, o que é evidenciado pela baixa relação silte/argila nestes solos ( $< 0,6$ ).

As linhas de fluxo convergente de material transportado possivelmente podem favorecer o acúmulo de elementos no NXe (SM-4) propiciando a maior saturação de bases (valor  $V > 50\%$ ) em até 1 m de profundidade no perfil (horizontes A e B).

A formação dos Nitossolos foi conferida pela cerosidade percebida a campo, com uso de lupa de 10 vezes de aumento. Na área de estudo, Chiapini et al. (2018) observaram a ocorrência de superfícies com aspecto brilhoso na descrição morfológica a campo, no entanto não identificaram a ocorrência de argiluviação em lâmina de micromorfologia.

Para estes autores a presença de superfícies lustrosas foi atribuída ao rearranjo de partículas nas fases dos agregados por ocasião de forças de contração e expansão no solo. E ainda, estes perfis estudados por Chiapini et al. (2018) apresentaram uma variação de cor em profundidade (policromia), o que os classifica como Argissolos.

Desta maneira, o processo de nitidização pode ser expresso por película de material coloidal depositada nas superfícies dos agregados, por contração e expansão do solo, ou pode ser decorrente de por outros processos como os descritos na revisão sobre a formação dos horizontes níticos por De Wispelaere et al. (2015).

No entanto, os mesmos descrevem a necessidade de melhores caracterizações destes solos, afim de discutir as possíveis causas do processo de nitidização que confere tal brilho aos agregados do solo.

Cooper e Vidal-Torrado (2005) ao estudarem solos com horizonte B nítico e/ou latossólico, descrevem que existe dificuldade na interpretação da cerosidade na descrição morfológica, e sugerem que a melhor terminologia

para designar o aspecto lustroso percebido sobre os agregados, seria de superfícies nítidas, ou de superfícies reluzentes como em Vidal-Torrado (2001).

Há uma semelhança entre os Latossolos, Nitossolos e também Argissolos, os quais se diferenciam por características específicas como gradiente textural (maior do que 1,5) e cerosidade (no mínimo moderada e comum).

Embora as UM's LBd3 e CXBd1 admitam a classe dos Nitossolos como inclusões (TABELA 6), as referidas características acima, não foram identificadas nos perfis estudados e, em termos de uso, comprometem o manejo e o estabelecimento adequado de espécies vegetais; seja pela rápida permeabilidade da água (Latosolos), maior disponibilidade hídrica devido ao acúmulo de partículas de argila em subsuperfície (Argissolos), ou exigência de práticas para prevenir a erosão (Nitossolos) (Klamt e Van Reeuwijk, 2000; Leão, 2016; Costa et al., 2019).

Também nos Nitossolos Brunos do PC (PC-1 e PC-2), foram observadas características morfológicas que horizontes sômbricos, ainda em discussão no SiBCS (Santos et al., 2018), indicando uma mobilidade da MO e a condição úmida do local. A expressão deste caráter é típica de áreas úmidas e/ou altimontanas em regiões subtropicais no Brasil (Botelho et al., 2014).

No PC, a relação entre as características morfológicas do perfil de Gleissolo e a dinâmica hídrica é expressa pela condição anaeróbica, por estar em um local próximo de curso d'água.

A microbiota ao decompor a MO, gera um ambiente redutor (potencial redox menor) e necessita de elementos receptores de elétrons, devido ao suprimento de  $O_2$  ser muito baixo. Íons como o  $NO_3^-$ ,  $Mn^{3+}$ ,  $Mn^{4+}$ ,  $Fe^{3+}$  e  $SO_4^{2-}$ , nesta ordem de maior afinidade, são reduzidos pelos microrganismos anaeróbios, e por difusão ou fluxo de massa são movimentados para a solução do solo devido a um gradiente de concentração, processo chamado de redoximorfismo.

Os sítios de perdas destes íons assumem cores acinzentadas no horizonte subsuperficial, como expressão do processo de gleização. A cor do horizonte é atribuída aos argilominerais primários e/ou secundários que permanecem no solo e apresentam cor acinzentada; esta composição é

percebida no perfil também pelo brilho em grãos pequenos nos agregados estruturais.

Devido aos ciclos de secagem, os íons que estão na solução do solo migram para às superfícies dos agregados em contato com O<sub>2</sub>, e ao oxidarem formam mosqueados de coloração vermelha, alaranjada, amarelada, brunada ou até preta (Kampf e Curi, 2012; Rosolen et al. 2019).

A condição de clima úmido favorece o maior teor de C nos horizontes superficiais, caracterizando como horizonte A húmico com cores mais escuras resultantes da pigmentação pela MO.

Os Cambissolos por corresponderem a solos que estão em um estágio de transição de desenvolvimento, são observados em áreas intermediárias (PC/PA-2 e PA-3). Ocorrem em geral, nas porções mais dissecadas do relevo, e são formados em diferentes litologias (Jordanova, 2017).

Com um horizonte B ligeiramente alterado por ações de intemperismo (e espessura mínima de 10 cm), as variações no desenvolvimento dessa classe estão fortemente dependentes das feições topográficas (Khresat, 2011). Os Cambissolos Húmicos (PC/PA-2 e PA-3) com baixa relação silte/argila ( $< 0,6$ ) demonstram um certo grau de intemperismo, o que os aproxima com a classe dos Latossolos (prevista apenas na UM CXBd1).

A observação de linhas laterais com seixos de feldspato e quartzo (*stone lines*), em perfis da transição entre o PC/PA são indícios de um material transportado do compartimento da SM (ITCG, 2018; Kemnitz e Lucke, 2019).

Desta forma, essas linhas laterais de pedra são representativas de descontinuidades erosivas, e de que ocorreram processos sedimentares que atestam a relação entre a morfogênese (processos erosivos) e a pedogênese (gênese do material originário) (Queiroz Neto, 2010). Existe então um indicativo de que os compartimentos geomorfológicos ao entorno do planalto do Alto Iguaçu, contribuem para a formação dos solos nas suas áreas.

Ao investigar a relação das formas de relevo nas topossequências amostradas, há uma necessidade de um estudo aprofundado para o esclarecimento dos processos pedogenéticos; sobretudo a forma como eles são contemplados pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos – SiBCS.

Mediante este estudo, uma importante contribuição para a classificação dos solos, seria apresentar uma classificação de relevo, incluindo para tanto,

uma subdivisão nos níveis categóricos ainda em fase de discussão no SiBCS (5° ou 6° níveis). A classificação esclareceria a formação de solos em diferentes feições geomorfológicas, separando de maneira mais homogênea o comportamento dos solos atrelado ao relevo, assim adequando ao melhor uso e manejo.

A região do município de Tijucas do Sul oferece uma oportunidade para evoluir uma classificação de relevo, por dispor de uma grande variação geomorfológica. Desta maneira, poderia iniciar uma aproximação entre os conceitos e entendimentos das diferentes áreas científicas que necessitam de informações sobre solos, como a geografia, agronomia e demais engenharias.

Entre os registros de sugestões decorrentes da XII Reunião Brasileira de Correlação de Solos (RCC), está o incentivo na participação não apenas de pedólogos, mas também de especialistas de outras áreas, para que se possa aprimorar a classificação de solos no Brasil (Lumbreras et al., 2019).

Ao considerar que o SiBCS é um sistema morfogenético, hierárquico, multicategórico e aberto, assim está sujeito a modificações nas suas informações (Santos et al., 2018; Lumbreras et al., 2019), o que possibilita colaborar para uma classificação de solos que atenda as demandas por diferentes aspectos relacionados aos solos; e que principalmente possa ser melhor compreendido pelos profissionais de áreas afins a ciência do solo.

## 2.7 CONCLUSÕES

Esse estudo indica que, apesar da proximidade, os diferentes compartimentos geomorfológicos guardam topossequências com diferentes sequências de solos. A classe dos Organossolos Háplicos no PA e na transição PC/PA é formada pela interação dos processos de acumulação de material orgânico, decomposição, humificação e paludização.

No entanto, os Organossolos Fólicos têm a sua gênese associada ao ambiente com baixas temperaturas. São necessários maiores esclarecimentos quanto a formação das camadas caulíníticas abaixo dos Organossolos no planalto do Alto Iguaçu, e também nos locais sem a contribuição do material orgânico sobrejacente.

No atual Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, a classe dos Podzólicos Vermelho-Amarelos, está desmembrada em Argissolos e Nitossolos, a diferenciação da ocorrência desta última classe nas unidades de mapeamento, nas quais ambas classes estão inseridas nas sequências estudadas, demonstra a necessidade de um mapeamento com melhor nível de detalhe, a fim de representar as características específicas da classe dos Nitossolos.

Os Nitossolos ocorreram em diferentes condições topográficas, desde superfícies pouco movimentadas, suave onduladas (PC, PC/PA e PA), até em áreas de relevo forte ondulado (SM), o que incentiva a estruturação de um sistema de classificação de solos que tenha relação com a geomorfologia.

Se faz necessário dessa forma, um sistema em que solos formados pelo mesmo processo pedogenético, possam ser separados pela condição de relevo, que implique seja na suscetibilidade a erosão, ou no estabelecimento de práticas de manejo adequadas. O SiBCS precisa de uma abordagem com termos e aspectos melhor compreendidos e utilizados em áreas correlatas a ciência do solo, seja por agrônomos, geólogos, e engenheiros afins.

## 2.8 REFERÊNCIAS

AUMOND, J. J. Aspectos geológicos de algumas argilas para cerâmica branca da Bacia de Tijucas do Sul. **Cerâmica**, v. 39, p. 24-26. 1993.

BENITES, V. M. Caracterização de solos e de substâncias húmicas em áreas de vegetação rupestre de altitude (Tese de Doutorado). Viçosa, **Universidade Federal de Viçosa**, 71p., 2002.

BHERING, S. B. et al. Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada. Rio de Janeiro: **Embrapa Florestas, Embrapa Solos, Instituto Agrônomo do Paraná**, p. 74, 2008.

BIGARELLA, J. J. et al. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Fundamentos geológico-geográficos, alteração química e física das rochas, relevo cárstico e dômico. **Editores da UFSC**, Florianópolis, p. 425, 1994.



BIONDI J.C.; SANTOS E. R. Depósito de caulim de Tijucas do Sul (Mina Fazendinha, Tijucas do Sul – PR). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, p. 243-252, 2004.

BOCKHEIM J. G. et al. Historical development of key concepts in pedology. **Geoderma**, Amsterdã, v. 124, p. 23-36, 2005.

BOTELHO, M. R. et al. Caracterização e classificação de solos com horizontes subsuperficiais escuros derivados de rochas graníticas no Escudo sul-riograndense. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1066-1076, 2014.

BUOL S. W., et al. Soil Genesis and Classification. 6. ed. Chichester: **Wiley-Blackwell**, 543p., 2011.

CAMPOS, J. R. R. et al. Influence of the structural framework on peat bog distribution in the tropical highlands of Minas Gerais, Brazil. **Catena**, v. 156, p. 228-236, 2017.

CHIAPINI M. et al. Formation of black carbon rich ‘sombrio’ horizons in the subsoil - A case study from subtropical Brazil. **Geoderma**, Amsterdã, v. 314, p. 232-244, 2018.

CIPRIANO-SILVA, R. et al. Caracterização de Organossolos em ambientes de várzea do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n.1, p. 26-38, 2014.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B Nítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p.581-595, 2005.

COSTA, E. U. C. et al. Genesis and Classification of Nitisols from Volcano-Sedimentary Lithology in Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]**, Viçosa, v. 43, 2019.

DE WISPELAERE, L. et al. Revisiting nitic horizon properties of Nitisols in SW Ethiopia. **Geoderma**, Amsterdã, v. 243–244, p. 69-79, 2015.



EVERETT, K. R. Histosols. In: Pedogenesis and Soil Taxonomy II. The Soil Orders Wilding, L.P.; Smeck, N. E.; Hall, G.F. (Eds.), **Elsevier**, Amsterdã, p. 1-53, 1983.

FARPOOR, M. H. et al. Soil-geomorphology relationships in Sirjan playa, south central Iran. **Geomorphology**, v. 138, p. 223-230, 2012.

FERREIRA, J. C. V. O Paraná e seus municípios. 2 ed. Memórias do Brasil, Cuiabá, 1999.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle Size Analysis. In: Methods of Soil Analysis, Part A. Klute (ed.). **American Society of Agronomy**. Madison: Wisconsin, v.9, n. 2, p. 383-411, 1986.

Grupo Gestor de Revitalização do Rio Iguaçu (GGRI). Rio Iguaçu: o maior rio do Paraná. Curitiba, 2019. Disponível em: <<http://www.rioiguacu.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=4>>. Acesso em: nov. 2019.

HOOGLAND T. et al. Modeling the subsidence of peat soils in the Dutch coastal area. **Geoderma**, Amsterdã, v. 171-172: p. 92-97, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos (Manuais Técnicos de Geociências, 1). Rio de Janeiro: **IBGE - Diretoria de Geociências**, p. 271, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de pedologia. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **IBGE**, v. 4, p. 316, 2007.

ITCG. Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná. Caracterização do meio físico para fins de planejamento urbano com a indicação de áreas de riscos geológicos – Tijucas do Sul (PR). Curitiba: **ITCG**, p. 31, 2018.

JORDANOVA, N. The magnetism of soils with little or no profile differentiation: Soils from mountain areas (Cambisols, Umbrisols) and floodplains (Fluvisols).

**Soil Magnetism:** Applications in Pedology, Environmental Science and Agriculture, p. 287-330, 2017.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds.). Pedologia: Fundamentos. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 207-302, 2012.

KEMNITZ, H.; LUCKE, B. Quartz grain surfaces – A potential microarchive for sedimentation processes and parent material identification in soils of Jordan. **Catena**, v. 176, p. 209–226, 2019.

KHRESAT, S. A. Formation and properties of Inceptisols (Cambisols) of major agricultural rainfed areas in Jordan. **Achieves of Agronomy and Soil Science**, v. 51, n. 1, p. 15–23, 2011.

KLAMT, E.; VAN REEUWIJK, L. P. Evaluation of morphological, physical and chemical characteristics of Ferralsols and related soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]**, v. 24, n. 3, p.573-587, 2000.

KÖPPEN, W. Climatologia. México: Fundo de Cultura Econômica, 1931.

LEÃO, T. P. Particle size distribution of Oxisols in Brazil. **Geoderma Regional**, v. 7, p. 216-222, 2016.

LUMBRERAS, J. F. et al. Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Rondônia. Brasília, DF: **Embrapa**, 2019.

MAACK, R. Breves notícias sobre a geologia dos estados do Paraná e Santa Catarina. **Brazilian Archives of Biology and Technology**: an international journal. Edição especial volume Jubilee, Curitiba, p.169-288, 2001.

MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. Curitiba, p. 350, 1968.

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African soils. **Soil research**, v. 4, p. 183–198, 1935.

MINASNY, B. et al. Digital mapping of peatlands – a critical review. **Earth-Science Reviews**, v. 196, 2019.

MINEROPAR (Minerais do Paraná AS) – Serviço Geológico do Paraná: Atlas comentado da geologia e dos recursos minerais do estado do Paraná, p. 125, 2001.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Caderno da Região Hidrográfica do Paraná, Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: **MMA**, p. 240, 2006.

MOREIRA, L. F. et al. Tijucas do Sul sedimentary basin stratigraphy. São Paulo: **UNESP**, Geociências, v. 38, n. 2, p. 467-481, 2019.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. Soil microbiology and biochemistry. 2.ed. New York, **Academic Press**, 340p., 1996.

PEDRON, F. de A. et al. Morfologia e classificação taxonômica de Neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral no Rio Grande no Sul. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 119-128, 2009.

PEREIRA, M. G. et al. Organossolos: Ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (Org.). Tópicos Especiais em Ciência do Solo. 4. ed. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 4, p. 233-276, 2005.

PEREZ, D. V. et al. Comparison of H/Al stoichiometry of mineral and organic soils in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1071-1076, 2009.

QUEIROZ NETO, J. P. O papel da pedogênese no modelado do relevo: busca de novos paradigmas. Coimbra, 2010.

ROCHA, S. S. Tijucas do Sul: aspectos gerais da formação, criação e evolução do município. **Editora Oni Gráfica e Editora Ltda**. Campo Largo, 2005.

ROSOLEN, V. et al. On the link between soil hydromorphy and geomorphological development in the Cerrado (Brazil) wetlands. **Catena**, v. 176, p. 197-208, 2019.

SANTOS, H. G. D. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2006.

SANTOS, H. G. D. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: **Embrapa**, 2018.

SANTOS, L. J. C. et al. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 7, n. 2, p. 3-12, 2006.

SANTOS, R. D. et al. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6. ed. revista e ampliada. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 100, 2013.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, **Revista Bacias Hidrográficas do Paraná – Série Histórica**, Curitiba, p. 29-42, 2010.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Mapeamento da Floresta Atlântica do Estado do Paraná: cartilha de apoio à interpretação das cartas de vegetação. Curitiba: **Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos**, 2002.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Plano de manejo da área de proteção ambiental de Guaratuba. **SEMA/ Instituto Ambiental do Paraná/Programa Proteção da Mata Atlântica – Pró-Atlântica**, Paraná, 2006.

SILVA NETO, E. C. da. et al. Paleoenvironmental records of Histosol pedogenesis in upland area, Espírito Santo State (SE, Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 95, n. 102301, 2019.

SIMONSON, R. W. Outline of a generalized theory of soil genesis. **Soil Science Society of America, Proceedings**, v. 23, p. 152-156, 1959.

SOUZA-BASTOS, L. R. et al. Evaluation of the water quality of the upper reaches of the main Southern Brazil river (Iguaçu river) through in situ exposure of the native siluriform *Rhamdia quelen* in cages. **Environmental Pollution**, v. 231, p. 1245-1255, 2017.

STANEK, W.; SILC, T. Comparisons of four methods for determination of degree of peat humification (decomposition) with emphasis on the von Post method. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 57, p. 109-117, 1977.

TEIXEIRA, P. C. et al. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 3ª ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: **Embrapa**, 573p., 2017.

VALLADARES, G.S. et al. Caracterização de solos brasileiros com elevados teores de material orgânico. **Magistra**, v. 20, n. 1, p. 95-104, 2008.

VASQUES, G. M. et al. Terra Soil classification using Visible–near infrared diffuse reflectance spectra from multiple depths. **Geoderma**, Amsterdã, v. 223–225, p. 73-78, 2014.

VIDAL-TORRADO, P. Essa tal cerosidade. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p. 13-15, 2001.

VIDAL-TORRADO, P. et al. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. In: Vidal-Torrado, P.; Alleoni, L. R. F.; Cooper, M.; Silva, A. P.; Cardoso, E. J.; Prochnow, L. I. (Org.). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.4, p.145-192, 2005.

ŽIVOTIĆA L. B. et al. Classification and spatial distribution of soils in the foot and toe slopes of mountain Vukan, East-Central Serbia. **Catena**, v. 159, p. 70–83, 2017.

### 3 CAPÍTULO II: PROCESSOS PEDOGENÉTICOS ENTRE A SERRA DO MAR E O PLANALTO DO ALTO IGUAÇU REPRESENTADOS POR ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS

#### 3.1 RESUMO

O mapeamento tradicional de solos possui algumas restrições pela demora e custo de operacionalização. Neste sentido, crescem as tentativas em gerar mapas detalhados de solos a partir de técnicas mais ágeis que demandem menores gastos, sem negligenciar o conhecimento tácito. Os atributos topográficos derivados de um Modelo Digital de Elevação (MDE) são comumente utilizados como ferramentas de apoio no Mapeamento Digital de Solos. A disponibilidade de algoritmos como os classificadores de imagens, nos softwares de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) contribuem para que usuários possam processar e combinar estes atributos topográficos com o intuito de agrupar diferentes processos hidrológicos e pedológicos. O objetivo foi definir quais atributos topográficos e classificadores de imagem podem melhor representar a variabilidade dos solos na região entre a Serra do Mar e o Planalto do Alto Iguaçu. Foram observadas quatro topossequências representativas das variações geomorfológicas na região, sendo uma na Serra do Mar (SM), outra no Planalto de Curitiba, e no Planalto do Alto Iguaçu (PA), e ainda uma quarta topossequência para representar a transição entre o Planalto de Curitiba e o Planalto do Alto Iguaçu (PC/PA). Para conhecer as sucessões de classes de solos ao longo das topossequências, perfis de solos foram descritos morfológicamente e amostrados para análises laboratoriais. O MDE foi obtido por meio do ALOS PALSAR com resolução de 12,5 m e, posteriormente, foram gerados atributos topográficos no software SAGA GIS. Por análise de correlação de Spearman foram selecionados atributos topográficos que obtiveram significativa correlação com dos atributos químicos e granulométricos dos solos, sendo eles: *multi-resolution valley bottom flatness index* (MrVBF), *profile curvature*, *slope*, *topographic wetness index* (TWI) e *valley depth*. Para inferir a distribuição espacial de classes de solos, os atributos foram utilizados em métodos de classificação supervisionada e não supervisionada de imagem no SAGA GIS. Os classificadores foram efetivos para separar os componentes das unidades de mapeamento e de suas associações. Como resultado do processo de classificação foi proposta uma representação de novas unidades de mapeamento dentro das topossequências. Nos dois métodos de classificação os perfis de Nitossolos Brunos foram agrupados em uma mesma delimitação, de forma que também os perfis com diferentes classificações puderam ser separados em distintos agrupamentos. Nas novas unidades de mapeamento a classe do Organossolo Fólico (OO) encontrado em ambiente altimontano, pôde ser separada dos Organossolos Háplicos (OX) que ocorrem nas planícies aluviais, pelos atributos topográficos MrVBF e TWI, com valores médios de: MrVBF > 2 para OX, e < 0,5 para OO; TWI > que 8 para OX e < 6 para OO. Correlação positiva foi obtida entre o MrVBF e o teor de  $Al^{+3}$ , indicando que áreas com processos de deposição (menor declividade) apresentam maiores teores de  $Al^{+3}$ .

comportamento atrelado aos processos de formação dos Organossolos Háplicos.

Palavras-chave: Pedologia. Pedometria. Classificadores de imagens.

### 3.2 ABSTRACT

The traditional soil mapping has some restrictions due to the delay and cost of operation. In this sense, growing as attempts to generate detailed maps of solutions from more agile techniques that require less expenditure, without neglecting or tacit knowledge. The topographic attributes specified for a Digital Elevation Model (DEM) are commonly used as supporting tools in Digital Soil Mapping. The availability of algorithms such as image classifiers, in Geographic Information Systems (GIS) software, helps users to use and combine these topographic resources in order to group different hydrological and pedological processes. Our aims were to define which are the topographic attributes and images classifiers that can be used according to the variability of soils in the region between Serra do Mar and the Plateau of the Alto Iguaçu. Four representative toposequences of the geomorphological changes in the region were observed, one in Serra do Mar (SM), another in the Curitiba Plateau, and in the Plateau of the Alto Iguaçu (PA), and a fourth to execute the transition between the Curitiba Plateau and the Plateau of the Alto Iguaçu (PC/PA). In order to know how succession of solution classes along the main sequences, problem solving profiles were morphologically and sampled for laboratory analysis. The MDE was used through ALOS PALSAR with a resolution of 12.5 m, and later were generated topographic attributes in the SAGA GIS software. By Spearman correlation analysis, the topographic criteria that obtained a significant correlation with the soil chemical and granulometric products were selected, being them: multi-resolution valley bottom flatness index (MrVBF), profile curvature, slope, topographic wetness index (TWI) e valley depth. To infer the spatial distribution of soil classes, the attributes were used in supervised and unsupervised image classification methods in SAGA GIS. The classifiers were effective in separating the components of the mapping units and their associations. As the result of the classification process, a representation of new mapping units within the main sequences was proposed. In the two methods of classification of Nitossolos Brunos, they were grouped in the same delimitation, so that profiles with different parameters can also be selected in different groups. In the new mapping units of the Organossolos Fólicos (OO), found in the external environment, were separated from the Organossolos Háplicos (OX), that occur in the alluvial plains, by the topographical MrVBF and TWI, with average values of: MrVBF and TWI, with average values of: MrVBF > 2 for OX, and <0.5 for OO; TWI > than 8 for OX and <6 for OO. The positive correlation was used between MrVBF and the content of  $Al^{3+}$ , it registered which areas with deposition processes (lower slope) registered higher levels of  $Al^{3+}$ , a behavior linked to the formation processes of the Organossolos Háplicos.

Keywords: Pedology. Pedometry. Images classifiers.



### 3.3 INTRODUÇÃO

Atualmente no Brasil, o mapeamento de solos necessita de uma representação em maior escala uma vez que, os materiais produzidos estão disponíveis em nível de reconhecimento (escalas 1:250.000 ou 1:600.000). Na representação em escala 1:250.000 a área mínima mapeável é de aproximadamente 2,5 Km<sup>2</sup>, em unidades simples ou componentes de associação (Embrapa, 1989; Santos et al., 1995).

Entretanto, a produção de mapas com maiores detalhamentos pelo mapeamento tradicional de solos torna-se um procedimento longo, trabalhoso e caro. No mundo crescem os números de trabalhos que buscam atualizar a distribuição espacial dos solos, atendendo a premissa de reconhecê-lo para evitar a sua degradação (Dharumarajan et al., 2019; McBratney et al., 2019; Ngunjiri et al., 2019; Rizzo et al., 2019; Sharififar et al., 2019; Yang et al., 2020).

A maioria das propriedades rurais no sul do Brasil são tradicionalmente pequenas, caracterizando-se por pequenos produtores rurais e uma agricultura familiar (IBGE, 2017). Logo, o melhor mapa de solos disponível, baseado em polígonos generalistas, expõe-se inapropriado para o gerenciamento conservacionista. Embora, o mapeamento convencional continua sendo a principal fonte de informação para essas áreas.

Novos esforços para criar mapas de solos detalhados estão apoiados em técnicas de Mapeamento Digital de Solos (MDS). Esta concepção foi introduzida por trabalhos de McBratney et al. (2000; 2003) e Lagacherie e McBratney (2007) e sustenta-se no paradigma estabelecido por Dokuchaev (1886), posteriormente na função de formação do solo, proposta por Jenny (1941).

Em sua definição, ambos estabelecem o solo em função de fatores formadores, os quais são: organismos, clima, geologia, relevo e tempo (*Clorpt*) (Buol et al., 2011). Reunindo estas covariáveis ambientais e abordando a localização espacial do solo, McBratney et al. (2003) estabelecem o modelo denominado *Scorpan*, representado como:

$S = f(s.c.o.r.p.a.n) + e$ ; sendo: s = solo; c = clima; o = organismos; r = relevo; p = material parental; a = tempo; n = localização ou posição espacial; e é a estimativa do erro ou incerteza da predição (Minasny e McBratney, 2016).

O estudo de como os solos ocorrem no ambiente é o alvo da pedologia (Ma et al., 2019), e este conhecimento deve ser incorporado na predição espacial pelas técnicas pedométricas. Estas técnicas demonstram que o aprendizado sobre a ciência do solo é necessário para orientar demandas ambientais e de segurança alimentar (McBratney et al., 2019).

Uma estratégia científica para o levantamento de solos surge do conceito estabelecido por Hudson (1992), que considerou a predição dos padrões naturais do solo a partir de modelos solo-paisagem. Entre os fatores formadores do solo o relevo tem grande influência nas sucessões de solos que ocorrem na paisagem (Milne, 1935).

A interação solo-relevo permite uma compreensão da distribuição espacial e temporal dos atributos, das características e do comportamento do solo, representando assim a pedogênese (Grunwald, 2006). Para Moore et al. (1993), o desenvolvimento de diferentes solos numa topossequência está condicionado aos fluxos de água, visto que as variações do relevo propiciam esta movimentação e influenciam na formação de diferentes solos, com alterações na profundidade, textura, cor e estrutura dos seus horizontes.

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) contribuem para o estudo quantitativo das diferentes formas de relevo, que assim podem apoiar o mapeamento de solos. Minasny et al. (2019) salienta que o MDE possibilita representar fatores condicionantes para a formação de solos na paisagem, como a topografia e os processos hidrológicos.

Do MDE são obtidos descritores que representam quantitativamente as formas de relevo, chamados de atributos topográficos (Moore et al., 1991; 1993; Wilson e Gallant, 2000; Chagas, 2006). Os atributos topográficos mostram potencial para prever os limites de ocorrência de classes de solos, por descreverem a interação do relevo e os processos pedogenéticos (Ippoliti et al., 2005; Prates et al., 2012; Chagas et al., 2013; Oliveira Junior et al., 2014; Nowatzki et al., 2017).

Outros estudos recentes como de Silva et al., 2019 e Rizzo et al., 2019, também utilizando atributos topográficos derivados de MDE, apresentam resultados importantes para a distribuição de solos subtropicais no Brasil. Percebe-se que essas ferramentas pedométricas estão constantemente

auxiliando a predição da distribuição de classes de solos incorporando, para tanto, o saber pedológico.

Os atributos topográficos derivados de um MDE podem ser agrupados em áreas com padrões semelhantes, utilizando ferramentas de classificação de imagens. Trata-se de um procedimento que consiste em agrupar os pixels de uma ou mais imagens em classes parecidas.

Os métodos mais comuns para a classificação dos pixels, são: i) a classificação supervisionada, que requer a definição de locais de treinamento em imagens de referência (classe já conhecida), como um treino para o algoritmo do classificador (Schowengerdt, 2007; Loog, 2018); e ii) classificação não supervisionada ou cluster, que agrupa os pixels automaticamente apenas dependendo do número de classes definida pelo usuário (Memarsadeghi et al., 2007).

O objetivo deste trabalho é definir quais atributos topográficos e classificadores de imagem melhor representam a variabilidade dos solos na região da Serra do Mar até o Planalto do Alto Iguaçu. A partir desses resultados será possível estabelecer critérios para o Mapeamento Digital de Solos na área, de forma mais barata e rápida.

### 3.4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.4.1 ÁREA DE ESTUDO

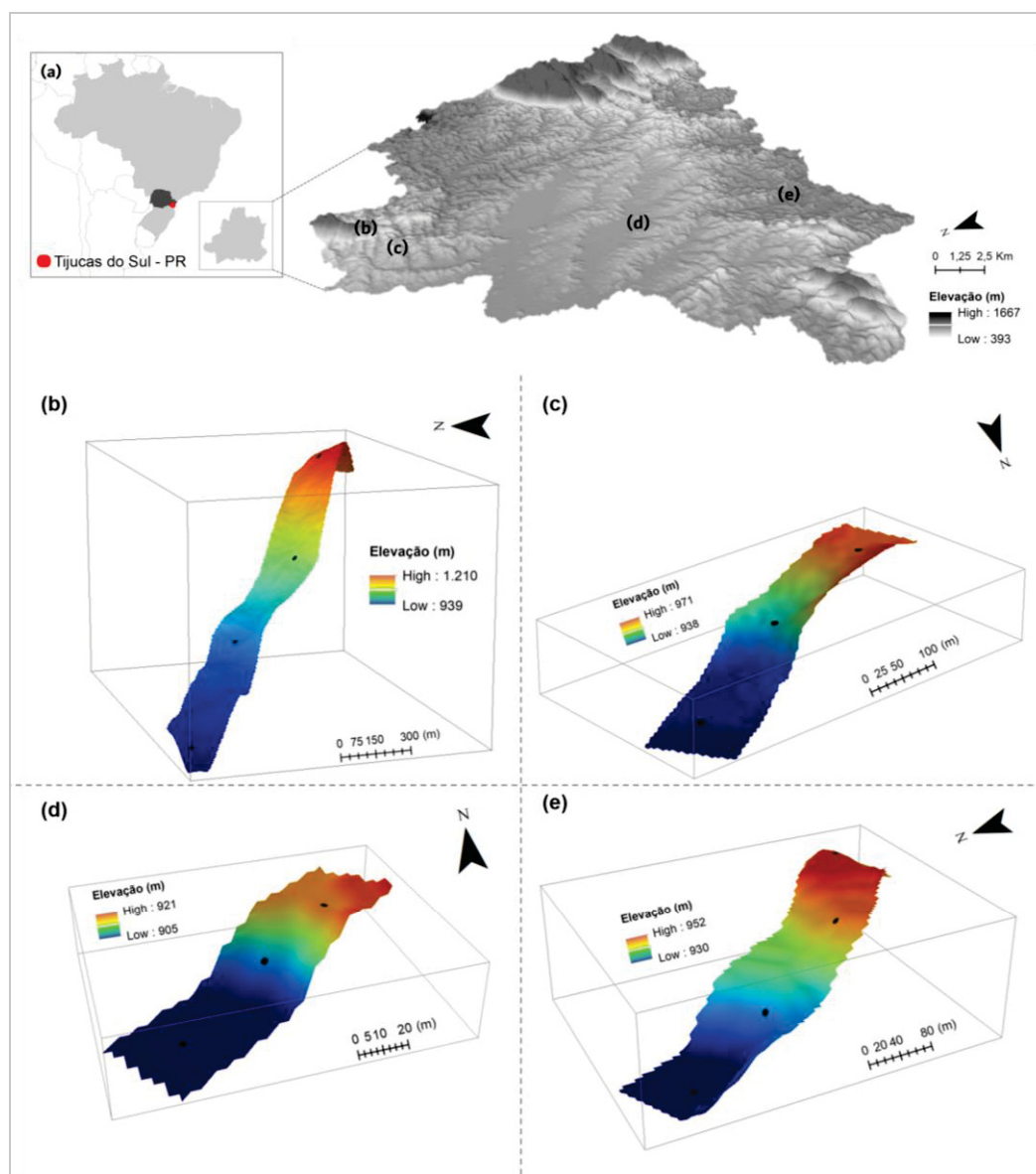
Este estudo foi realizado na região sul do Brasil, no município de Tijucas do Sul, localizado na Região Metropolitana de Curitiba (RMC), no Estado do Paraná, coordenadas centrais 25° 55' 41" S e 49° 11' 56" W (FIGURA 1).

O clima da região é caracterizado, de acordo com Köppen (1931), como subtropical úmido mesotérmico (Cfb), com temperatura média anual de 16,4°C e severas geadas noturnas no decorrer do ano (Maack, 1968; Ferreira, 1999). A precipitação média anual é de aproximadamente 1.500 mm, sendo bem distribuída ao longo dos meses.

A vegetação é constituída pelo contato entre a Floresta Ombrófila Mista Aluvial (Mata Ciliar), a Floresta Ombrófila Mista Montana (Mata com Araucária), e Floresta Ombrófila Densa Altomontana (SEMA, 2002; IBGE, 2012).

O uso da terra no município é dedicado principalmente para a agricultura (soja, milho, feijão, fumo, batata-inglesa e outros) incluindo áreas de reflorestamentos, de mineração de caulim, haras para a criação de equinos, com parte do município pertencente a Área de Proteção Ambiental (APA) de Guaratuba (SEMA, 2010; COMEC, 2017).

FIGURA 1 – REPRESENTAÇÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO PARA O MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL – PR E LOCALIZAÇÃO DAS TOPOSSEQUÊNCIAS ESTUDADAS.



Localização da área de estudo no município de Tijucas do Sul - PR (a). Pontos observados nas topossequências da Serra do Mar (b), Planalto de Curitiba (c), transição entre os Planaltos de Curitiba e do Alto Iguaçu (d), e Planalto do Alto Iguaçu (e). FONTE: O autor (2020).

Na região o cenário geomorfológico é diverso, sendo identificados conforme Santos et al. (2006) os compartimentos, Blocos Soerguidos da Serra do Mar (SM), Planalto de Curitiba (PC), e Planalto do Alto Iguaçu (PA). Este último apresenta áreas de topos alongados e aplainados com vertentes que se associam às planícies aluviais.

A geologia é composta por rochas do complexo gnáissico migmatítico, suíte álcali-granitos, depósitos sedimentares da Formação Guabirotuba, e afloramentos rochosos da Formação Guaratubinha.

O município está inserido na bacia hidrográfica do Alto Iguaçu. Topograficamente a área apresenta formas que vão de topos alongados e aplainados, com vertentes convexas que podem articular-se com planícies aluviais, e ainda possui vales que convergem em um fundo muito estreito (ITCG, 2018).

A altitude no município varia de 392 a 1.668 m. Na porção leste do município está localizada as maiores declividades, influenciadas pela formação da Serra do Mar. Ao centro são vistas planícies suavemente onduladas, que se encontram com amplas várzeas do Holoceno (Maack, 1968).

Na base de dados disponível, em escala 1:250.000, a área é contemplada pelas unidades de mapeamento dos Organossolos, Cambissolos, Argissolos Vermelho-Amarelos, e Latossolos Vermelho-Amarelos (Bhering et al., 2008).

### 3.4.2 TOPOSSEQUÊNCIAS OBSERVADAS

No estudo foram observadas quatro topossequências representativas das variações geomorfológicas conforme as descrições de Santos et al. (2006), sendo uma na Serra do Mar (SM), no Planalto de Curitiba (PC), no Planalto do Alto Iguaçu (PA), e outra na transição entre os Planaltos de Curitiba e do Alto Iguaçu (PC/PA). Assumiu-se que em cada topossequência os fatores de formação (material de origem, organismos, clima e o tempo) são os mesmos, sendo o relevo o único fator que apresenta variação.

No campo foram realizadas tradagens e observações de cortes de barrancos, afim de identificar as variações dos atributos morfológicos dos solos

bem como a sucessão destes ao longo das topossequências. Para a representação das variações de solos em cada topossequência foi observado um total de 14 prospecções, com quatro perfis de solos coletados e descritos morfológicamente na SM e no PA; e três perfis no PC e na transição entre PC/PA.

### 3.4.3 ANÁLISES LABORATORIAIS E CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS

Nos perfis observados foi realizada a descrição morfológica conforme Santos et al. (2013) e IBGE (2007). Após a descrição procedeu-se a coleta de amostras para análises granulométrica e química de rotina.

As amostras coletadas foram secadas em estufa a 40°C, moídas e posteriormente peneiradas em malha de 2 mm, para obtenção da fração terra fina. A análise granulométrica seguiu o método do hidrômetro de Bouyoucos, utilizando solução dispersante de hidróxido de sódio (NaOH) 4 g L<sup>-1</sup> e hexametáfosfato de sódio (NaPO<sub>3</sub>)<sub>6</sub> 10 g L<sup>-1</sup> (Calgon) (Gee e Bauder, 1986). Para as amostras com teor de matéria orgânica maior do que 5% foi realizado o tratamento com peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>).

As análises químicas incluem as seguintes determinações: pH do solo em água (1:2,5); Al<sup>3+</sup> extraído em solução KCl 1 mol L<sup>-1</sup> e determinado por titulação do extrato com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>; a acidez potencial (H+Al) extraída em acetato de cálcio 0,5 mol L<sup>-1</sup> pH 7,0, sendo determinada por titulação com NaOH 0,025 mol L<sup>-1</sup>; Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> extraído por solução de KCl 1 mol L<sup>-1</sup>, onde a determinação é feita por espectrometria de absorção atômica; Na<sup>+</sup> e K<sup>+</sup> pela solução extratora Mehlich-1 (solução duplo ácida de HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 mol L<sup>-1</sup>), em que suas leituras são determinadas por espectrofotômetro de chama (Teixeira et al., 2017). A determinação do carbono total do solo e nitrogênio foi realizada via combustão seca no aparelho VARIO EL III ELEMENTAR.

Os resultados da descrição morfológica e das análises laboratoriais foram utilizados para a classificação dos solos, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS (Santos et al., 2018). A TABELA 1 apresenta a classificação dos perfis de solos observados nas topossequências.

Os perfis classificados nas topossequências foram comparados com as unidades de mapeamento (UM) no Mapa de Solos do Estado do Paraná, em escala 1:250.000 (Bhering et al., 2008), sendo que as definições taxonômicas estão de acordo com a 2ª edição do SiBCS.

As UM's são identificadas por uma simbologia que representa o primeiro componente da associação de maior extensão geográfica. Na TABELA 1 são indicadas as UM's as quais pertencem os locais em que os perfis foram amostrados e descritos.

TABELA 1 – CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS DAS TOPOSSEQUÊNCIAS ESTUDADAS (SM, PC, PC/PA e PA), DE ACORDO COM O SISTEMA BRASILEIRO DE CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (SANTOS et al., 2018), E UNIDADES DE MAPEAMENTO (UM), CONFORME ESCALA 1:250.000, EM QUE ESTÃO INSERIDOS OS PERFIS ESTUDADOS.

Perfis	Classificação SiBCS	Simbologia	UM <sup>1</sup>
<b><u>SM</u></b>			
SM-1	Organossolo Fólico Hêmico lítico	OOy	AR2: Afloramentos de Rocha (granitos e quartzitos)
SM-2	Neossolo Litólico Distrófico leptofragmentário	RLd	+ Neossolo Litólico Hístico.
SM-3	Nitossolo Háptico Distrófico típico	NXd	LBd3: Latossolo Bruno Distrófico típico + Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico álico.
SM-4	Nitossolo Háptico Eutrófico típico	NXe	
<b><u>PC</u></b>			
PC-1	Nitossolo Bruno Distrófico húmico	NBd	LBd3: Latossolo Bruno Distrófico típico + Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico álico.
PC-2	Nitossolo Bruno Distrófico húmico	NBd	
PC-3	Gleissolo Melânico Ta Alumínico húmico	GMva	
<b><u>PC/PA</u></b>			
PC/PA-1	Nitossolo Bruno Distrófico húmico	NBd	OY3: Organossolo Mésico Sáprico típico + CAMBISSOLO Háptico Tb Distrófico típico álico.
PC/PA-2	Cambissolo Húmico Distrófico latossólico	CHd	
PC/PA-3	Organossolo Háptico Sáprico típico	OXs	
<b><u>PA</u></b>			
PA-1	Nitossolo Bruno Distrófico húmico	NBd	CXBd1: Cambissolo Háptico Tb Distrófico típico álico.
PA-2	Nitossolo Bruno Distrófico húmico	NBd	
PA-3	Cambissolo Húmico Distrófico latossólico	CHd	
PA-4	Organossolo Háptico Sáprico típico	OXs	

UM<sup>1</sup>: Conforme o Mapa de Solos do Estado do Paraná, legenda atualizada (Bhering et al., 2008), com as classes de solos mais representativas, classificadas até o 4º nível categórico de acordo com a 2ª edição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006).  
FONTE: O autor (2020).

#### 3.4.4 ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS



A representação do relevo foi obtida a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE) da base de dados do sensor ALOS PALSAR (*Advanced Land Observing Satellite - Phase Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), com dados processados e disponibilizados gratuitamente pelo *Alaska Satellite Facility* no site <https://www.asf.alaska.edu/>, com uma resolução espacial de 12,5 m.

Na sequência, foram derivados do MDE 16 atributos topográficos no Sistema de Informações Geográficas (SIG) de código aberto (*Free Open Source Software*) *System for Automated Geoscientific Analyses* (SAGA; <http://www.saga-gis.org>), gerados por algoritmos do comando de análise de terreno (*Basic Terrain Analysis*) com configurações padrão do software.

### 3.4.5. ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para correlação dos atributos do solo com os atributos topográficos, foi criado um banco de dados onde constaram os pontos amostrados e descritos em campo; os valores dos atributos químicos e granulométricos obtidos pelas análises laboratoriais; e os atributos topográficos extraídos de cada ponto amostrado.

Deste banco de dados, foram excluídas as informações dos horizontes subsuperficiais BC e C, para favorecer a melhor relação entre as características dos horizontes com expressivo processo pedogenético e os atributos topográficos preditos.

A normalidade dos dados foi testada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Em caso de não normalidade, foi empregada a análise de correlação de Spearman ( $p \leq 0,01$ ;  $p \leq 0,05$ ).

### 3.4.6 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM E CLASSES DE SOLOS

Para a inferência da distribuição espacial de classes de solo aplicou-se as ferramentas de classificação supervisionada e não supervisionada de imagens no SAGA GIS.

Para a execução da classificação supervisionada, inicialmente foram estabelecidas áreas de treinamento, apoiando-se nos pontos amostrados foi

gerado um arquivo shapefile com polígonos de 5 x 5 pixels, que correspondem aos pixels adjacentes aos que continham cada ponto de amostragem.

Os pixels dos atributos topográficos, que apresentaram correlação positiva com os atributos químicos e granulométricos do solo, foram agrupados pelo método matemático do classificador supervisionado, que melhor representou a distribuição dos pixels como membros nas classes agrupadas.

Deste modo, o classificador é treinado para identificar os padrões espaciais semelhantes, utilizando os atributos topográficos escolhidos como parâmetros representativos dos processos locais, para a varredura e agrupamento das informações.

Para comparativo de resultados também foi executada a classificação não supervisionada - *K-Means Clustering for Grids*. No processo, a classificação é automática e consiste somente em informar os dados de entrada; sendo estes os atributos topográficos que apresentaram correlação significativa com os atributos químicos e granulométricos do solo, e definir o número de intervalo de classes de saída desejável.

No SAGA GIS essa classificação também é referida como análise de cluster (Fisher et al., 2017). Na etapa seguinte é preciso analisar o resultado do mapa de clusters, identificar o que cada agrupamento representa e proceder a reclassificação das classes arbitrárias.

Para constatar qual o método de classificação pôde melhor delimitar as classes de solos que ocorrem nas topossequências, serão comparados os mapas gerados pelos métodos de classificação (supervisionada e não supervisionada) com a identificação dos perfis descritos nas topossequências, e também observações complementares no trabalho de campo.

Com base no classificador que melhor identificou essas variações de solos, é proposto um mapa onde foi vetorizado sobre os limites dos agrupamentos, as classes de solos que ocorrem nas topossequências amostradas.

### 3.5 RESULTADOS

#### 3.5.1 TOPOSSEQUÊNCIAS E CLASSES DE SOLOS

A TABELA 2 apresenta as unidades de mapeamento (UM) do mapa de solos na escala 1:250.000 (Bhering et al., 2008) com as respectivas inclusões.

Na topossequência da SM os perfis de Organossolo Fólico Hêmico lítico (OOy, SM-1), Neossolo Litólico Distrófico típico (RLd, SM-2), e Nitossolo Háplico Distrófico típico (NXd, SM-3) estão inseridos na UM AR2, que admite como inclusões as classes dos Cambissolos e dos Latossolos Vermelho-Amarelos.

Para o perfil classificado como Nitossolo Háplico Eutrófico típico (NXe, SM-4), inserido na UM LBd3, é reconhecida a ocorrência da classe dos Nitossolos, anteriormente classificados como Podzólicos Vermelho-Amarelos.

Os perfis estudados no PC estão também inseridos na UM LBd3, em que os Nitossolos Brunos Distróficos húmicos (NBd, PC-1 e PC-2) são representados nas inclusões admitidas por esta UM, conforme pode-se observar pela TABELA 2. Já o perfil de Gleissolo Melânico Ta Alumínico húmico (GMva, PC-3) não têm a sua ocorrência representada na UM LBd3.

Os perfis alocados na transição entre os Planaltos de Curitiba e do Alto Iguaçu, Nitossolo Bruno Distrófico húmico (NBd, PC/PA-1), Cambissolo Húmico Distrófico latossólico (CHd, PC/PA-2), e Organossolo Háplico Sáprico típico (OXs, PC/PA-3) estão inseridos na associação de Organossolos Mêsicos e Cambissolos Háplicos - UM OY3 (TABELA 2), a qual têm como inclusões solos litólicos, hidromórficos gleizados e aluviais.

No compartimento do PA, a topossequência com os perfis correspondentes aos Nitossolos Brunos Distróficos húmicos (NBd, PA-1 e PA-2), Cambissolo Húmico Distrófico latossólico (CHd, PA-3), e Organossolo Háplico Sáprico típico (OXs, PA-4), está inserida na UM CXBd1 (Cambissolo Háplico Tb Distrófico típico).

Nesta unidade são permitidas variações de solos intermediários para Podzólicos e Latossolos Vermelho-Amarelos, Cambissolos com horizonte A moderado. Também abrangem inclusões de Podzólicos Vermelho-Amarelos, e solos Litólicos modelados sobre migmatitos (TABELA 2).

Pelo mapa de solos para o Estado do Paraná (1:250.000 – Bhering et al., 2008) as topossequências do PC, da transição do PC/PA e do PA são reconhecidas em apenas uma UM (LBd3, OY3, CXBd1, para PC, PC/PA e PA respectivamente).

A compilação das características morfológicas e analíticas para a classificação dos perfis, conforme Embrapa (2018), está representada na TABELA 3.

TABELA 2 – UNIDADES DE MAPEAMENTO (UM), CONFORME ESCALA 1:250.000, EM QUE ESTÃO INSERIDOS OS PERFIS ESTUDADOS. ADAPTADO DO MAPA DO LEVANTAMENTO DE RECONHECIMENTO DOS SOLOS DO ESTADO DO PARANÁ: LEGENDA ATUALIZADA.

Perfil	SiBCS <sup>1</sup>	UM <sup>2</sup>	Classes de Solos <sup>3</sup>	Inclusões
<b>SM</b>				
SM-1	OOy	AR2	Associação de AFLORAMENTOS DE ROCHA (granitos e quartzitos) + NEOSSOLO LITÓLICO Hístico, álico A proeminente textura argilosa; relevo escarpado e montanhoso; substrato granitos e quartzitos.	c) Cambissolo Álico; e
SM-2	RLd			
SM-3	NXd			d) Latossolo Vermelho-Amarelo Álico.
SM-4	NXe	LBd3	Associação de LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico, relevo suave ondulado + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico álico, relevo ondulado; substrato migmatitos; ambos A proeminente, textura argilosa.	d) Podzólico Vermelho-Amarelo textura argilosa;
				e) Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa; e
				f) Cambissolo A moderado.
<b>PC</b>				
PC-1	NBd	LBd3	Associação de LATOSSOLO BRUNO Distrófico típico, relevo suave ondulado + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico álico, relevo ondulado; substrato migmatitos; ambos A proeminente, textura argilosa.	d) Podzólico Vermelho-Amarelo textura argilosa;
PC-2	NBd			
PC-3	GMva			e) Latossolo Vermelho-Escuro textura argilosa; e
<b>PC/PA</b>				
PC/PA-1	NBd	OY3	Associação de ORGANOSSOLO MÉSICO Sápico típico + CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico álico, A proeminente, textura indiscriminada; substrato sedimentos recentes; ambos com relevo plano.	d) Solos Litólicos;
PC/PA-2	CHd			e) Solos Hidromórficos Gleyzados; e
PC/PA-3	OXs			f) Solos Aluviais.
<b>PA</b>				
PA-1	NBd	CXBd1	CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico álico, A proeminente, textura argilosa, relevo suave ondulado; substrato migmatitos.	Variações desta unidade:
PA-2	NBd			d) Solos intermediários para Podzólico Vermelho-Amarelo
PA-3	CHd			textura argilosa;
PA-4	OXs			e) Cambissolo com A moderado, ao invés de proeminente; e
f) Solos intermediários para Latossolo Vermelho-Amarelo				
textura argilosa.				
Constituem inclusões nesta unidade:				
c) Podzólico Vermelho-Amarelo; e				
d) Solos Litólicos substratos migmatitos.				

SiBCS<sup>1</sup>: Simbologia segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018). UM<sup>2</sup>: Unidades de mapeamento conforme Mapa de Solos do Estado do Paraná, legenda atualizada (Bhering et al., 2008). Classes de solos<sup>3</sup>: Classificação até o 4º nível categórico, de acordo com a 2ª edição do SiBCS (Santos et al., 2006); como informações complementares referentes ao 5º e 6º níveis categóricos (tipo de horizonte A, textura, fase de floresta, e relevo) (Santos et al., 1984). FONTE: O autor (2020).

Perfil	SiBCS <sup>1</sup>	Elevação	Declive	Hz.	Prof. (cm)	Cor (Úmida) <sup>2</sup>	Cerosidade <sup>3</sup>	Ativ.				pH <sub>água</sub>	Silte/Argila					
								(cmol <sub>c</sub> .kg <sup>-1</sup> )					C (%)					
								Al <sup>3+</sup>	SB	CTC	Arg.		V	C	Areia	Silte	Argila	Silte/Argila
SM-1	OOy	1.192	33	O	0-40	7,5 YR 3/1	-	5,7	1,4	38,2	87,0	4,3	4	12	16	40	44	0,9
SM-2	RLd	1.096	32	A	0-20	7,5 YR 4/6	-	1,6	3,0	15,4	24,8	4,8	20	3	11	27	62	0,4
SM-3	NXd	1.015	20	R	-100+	7,5 YR 5/8	-	1,7	0,5	10,0	16,0	4,9	5	2	-	-	-	0,4
SM-4	NXe	960	24	A	0-15	7,5 YR 4/4	-	0,1	7,5	16,5	29,0	5,4	45	4	20	23	57	0,4
				B	-120+	7,5 YR 5/6	mod/com	1,2	2,8	10,6	15,3	5,0	26	2	13	18	69	0,3
				A	0-50	5 YR 5/4	-	0	9,5	12,0	17,6	6,6	79	3	68	17	15	0,3
				B	-100	5 YR 4/4	mod/com	0,1	5,3	9,4	13,0	5,6	57	1	72	14	14	0,2
				Ab	-125	5 YR 5/6	-	1,0	3,3	11,6	15,5	4,9	28	1	75	12	13	0,2
PC-1	NBd	964	4	A1	0-35	7,5 YR 3/2	-	4,6	0,9	22,3	32,3	4,6	4	5	22	9	69	0,1
				A2	-70	7,5 YR 2,5/1	-	3,8	0,5	21,8	32,1	4,7	2	4	25	7	68	0,1
				B1	-115	7,5 YR 5/4	fo/abu	2,1	0,5	7,4	10,1	4,7	6	1	24	3	73	0,0
PC-2	NBd	940	3	B2	-160	7,5 YR 4/6	fo/abu	0,2	0,3	5,4	7,3	5,9	6	1	21	5	74	0,1
				BC	-200+	7,5 YR 5/6	fo/abu	0,4	0,8	6,6	8,6	4,9	13	1	18	6	76	0,1
				A1	0-70	7,5 YR 2,5/2	-	4,2	0,3	23,0	33,0	4,6	1	5	21	9	70	0,1
				A2	-120	7,5 YR 2,5/1	-	3,9	0,4	20,4	29,9	4,7	2	5	23	9	68	0,1
				B1	-185	7,5 YR 5/8	fo/abu	1,5	0,3	6,9	9,4	4,5	5	1	21	5	74	0,1
PC-3	GMva	939	6	B2	-220	5 YR 5/8	fo/abu	0,4	0,1	5,6	7,5	5,0	2	1	20	5	75	0,1
				BC	-240+	5 YR 5/8	fo/abu	0,2	0,4	4,6	6,0	5,1	9	1	19	5	76	0,1
				A1	0-35	10YR 3/3	-	5,1	1,4	20,7	29,7	3,8	7	4	14	16	70	0,2
				A2	-65	10YR 3/4	-	4,4	1,3	20,5	41,3	4,2	7	3	31	19	50	0,4
				A3	-105	10YR 2/2	-	4,7	1,0	19,9	39,4	4,2	5	3	31	19	50	0,4
Cgr	-170+	[mosqueado 10YR 7/1] 10YR 8/2 [mosqueado 7,5YR 5/8]	-170+	Cgr	-170+	[mosqueado 10YR 7/1] 10YR 8/2 [mosqueado 7,5YR 5/8]	-	5,8	1,0	15,4	31,3	4,2	6	2	35	16	49	0,3
								8,4	1,1	15,1	47,7	4,2	7	0,4	37	32	31	1,0

Continua TABELA 3:

Perfil	Elevação (m)	Declive (%)	Hz.	Prof. (cm)	Cor (Úmida) <sup>1</sup>	Cerosidade <sup>2</sup>	Ativ. Arg.					pH <sub>água</sub>	V C					Argila	Silte/Argila
							Al <sup>+3</sup>	SB	CTC	Arg.	(%)								
											PC/PA		PA	PA	PA	PA			
PC/PA-1	NBd	914	6	A1 A2 B	0-30 -70 -160+	10 YR 3/3 10 YR 4/3 5 YR 4/6	-	3,7	1,4	18,8	32,2	4,3	7	5	35	7	58	0,1	
								3,1	0,4	15,5	26,0	4,5	3	3	38	3	59	0,1	
								1,0	1,1	7,1	10,8	4,9	16	1	31	4	65	0,1	
								2,4	3,9	24,5	41,7	4,7	16	7	29	12	59	0,2	
PC/PA-2	CHd	908	17	A1 A2 BA B	0-20 -48 -86 -120+	10 YR 3/2 10 YR 2/2 10 YR 3/6 10 YR 5/8	-	3,5	1,0	22,3	37,5	4,8	5	5	31	10	59	0,2	
								2,0	1,1	12,0	20,1	4,9	9	2	36	4	60	0,1	
								1,4	0,4	7,4	14,7	4,9	6	1	36	14	50	0,3	
								3,6	3,7	22,2	36,8	5,0	17	16	14	26	60	0,4	
PC/PA-3	OXs	905	0,2	H1 H2 H3	0-25 -60 -80+	10 YR 3/2 10 YR 3/1 10 YR 2/1	-	6,6	1,6	13,0	19,0	4,7	12	21	6	25	69	0,4	
								10,6	1,5	34,6	49,8	4,6	4	15	3	28	69	0,4	
								PA											
								3,2	1,1	14,6	22,3	4,4	8	4	27	8	65	0,1	
PA-1	NBd	951	4	A B BC C	0-40 -80 -115 -120+	5 YR 5/6 5 YR 5/8 5 YR 6/6 -	-	1,8	0,6	8,1	13,3	4,5	8	2	32	7	61	0,1	
								0,8	0,5	6,1	9,9	4,8	9	1	27	11	62	0,2	
								mod/com											
								4,5	0,8	23,5	38,9	4,2	3	6	36	4	60	0,1	
PA-2	NBd	948	13	A1 A2 B BC	0-20 -45 -80 -120+	7,5 YR 3/2 7,5 YR 3/1 7,5 YR 4/4 2,5 YR 4/8	-	4,6	0,4	19,6	30,0	4,4	2	4	31	4	65	0,1	
								2,0	0,6	8,7	13,2	4,6	6	1	31	3	66	0,0	
								mod/com											
								1,1	0,7	6,0	9,3	4,8	11	1	30	5	65	0,1	
PA-3	CHd	937	17	A AB B BC C	0-35 -65 -100 -160 -160+	7,5 YR 3/2 7,5 YR 5/4 5 YR 5/8 5 YR 6/6 10 YR 8/1	-	3,2	1,1	17,9	37,2	3,9	6	5	44	8	48	0,2	
								2,1	0,8	8,5	15,0	4,1	10	2	38	5	57	0,1	
								mod/po											
								1,5	0,8	5,7	10,2	4,2	14	1	36	8	56	0,1	
PA-4	OXs	930	0,2	H1 H2 H3 H4	0-25 -50 -60 -120+	10 YR 3/1 10 YR 2/2 10 YR 2/1 10 YR 3/2	-	1,5	0,9	5,1	9,1	4,2	18	0	38	5	57	0,1	
								2,2	0,7	4,7	11,8	4,3	15	0	40	20	40	0,5	
								4,7	8,8	47,2	77,8	4,8	9	29	10	29	61	0,5	
								5,3	5,3	35,9	52,8	4,7	0	31	5	27	68	0,4	
								3,1	3,0	23,7	35,4	5,6	0	32	6	27	67	0,4	
								4,5	4,8	29,7	37,1	4,7	1	16	2	18	80	0,2	

SiBCS<sup>1</sup>: Simbologia segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018). Cor (úmida)<sup>2</sup>: Matiz valor/croma. Cerosidade<sup>3</sup>: Grau – moderada (mod); forte (fo); Quantidade – pouca (po); comum (com); abundante (abu). SB: Soma de bases trocáveis. CTC: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. V: Saturação de bases. C: Carbono orgânico total (método de combustão seca – CHNS/O). FONTE: O autor (2020).



### 3.5.2 ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS

Por não apresentar distribuição normal, os 16 atributos topográficos gerados do MDE foram submetidos a uma análise de correlação de Spearman. A avaliação das correlações significativas possibilitou identificar quais os atributos topográficos que reproduzem uma melhor relação (direta ou inversa) com as características dos solos, apoiando a seleção dos atributos topográficos para a discriminação das classes de solos.

A TABELA 4 mostra quais os atributos topográficos obtiveram uma correlação significativa com as características dos perfis, e nas FIGURAS 2, 3, 4 e 5 está representada a distribuição dos atributos topográficos nas topossequências da SM, PC, PC/PA e PA, respectivamente.

As melhores correlações aos níveis de probabilidade 0,01 e 0,05 com as características granulométricas e algumas características químicas dos perfis observados, foram obtidas com o *multi-resolution valley bottom flatness index* (MrVBF), *profile curvature*, *slope*, *topographic wetness index* (TWI) e *valley depth* (TABELA 4).

O pH<sub>água</sub> apresentou uma correlação positiva e significativa com o *valley depth* ( $r = 0,48$ ) (TABELA 4), os valores menores do atributo topográfico indicam áreas de menor profundidade do vale.

O carbono orgânico total no solo (C), apresentou uma relação inversa com as áreas de maior profundidade de vale (*valley depth*). A atividade da argila e a CTC em pH 7,0 apresentaram correlação inversa com o *valley depth* ( $r = -0,38$  e  $-0,42$ ; respectivamente).

O *profile curvature* com valores positivos, refere-se à tendência convexa do relevo (Valeriano, 2008), apresentando uma inversa relação com os valores de pH<sub>água</sub> ( $r = -0,42$ ), que assim seguem mais baixos.

Com o teor de  $Al^{3+}$  e a acidez potencial (H+Al), o atributo topográfico *slope* correlacionou-se inversamente. Correlação positiva foi obtida entre o MrVBF e o teor de  $Al^{3+}$ .

A soma de bases (SB) e a saturação por bases (V%) tiveram correlação inversa com o TWI ( $r = -0,42$  e  $-0,41$ , respectivamente) e o MrVBF ( $r = -0,56$  e  $-0,54$ , respectivamente), e apresentaram correlação direta com o *slope* ( $r = 0,52$  e  $0,57$ ; nesta ordem).

Os atributos TWI e o MrVBF demonstraram correlação direta com a fração argila (fração menor do que 0,002 mm), com valores de  $r$  iguais a 0,65 e 0,74, respectivamente; e inversa com a areia (partículas entre 2 – 0,05 mm), com coeficientes de -0,59 e -0,47, de modo respectivo.

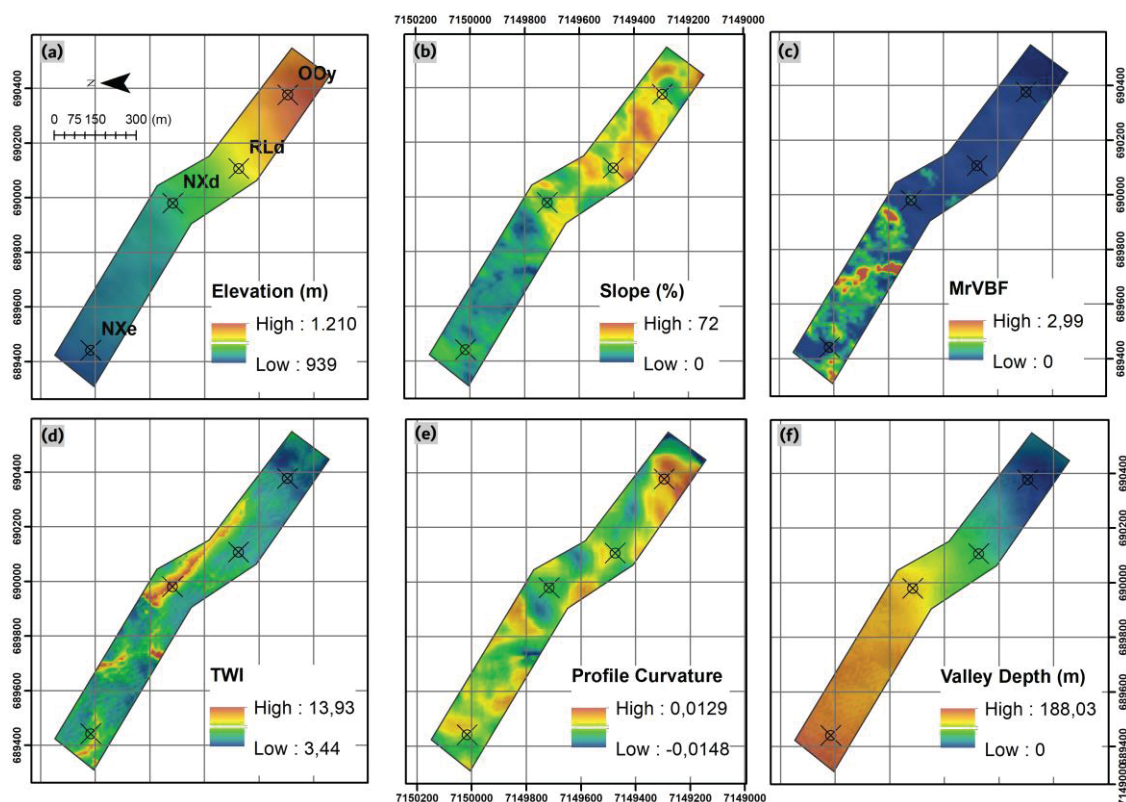
O teor de silte bem como a relação silte/argila apresentaram correlação inversa com o *profile curvature*, sugerindo que em feições do relevo com formas convexas (valores positivos de *profile curvature*) o teor de silte aumenta em detrimento ao teor de argila.

TABELA 4 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA OS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS COM OS ATRIBUTOS QUÍMICOS E GRANULOMÉTRICOS DOS PERFIS OBSERVADOS NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO SUL – PR.

Variáveis	MrVBF	Profile Curvature	Slope	TWI	Valley Depth
pH <sub>água</sub>	-0,13	-0,42*	0,15	0,18	0,48**
H+Al	0,18	-0,26	-0,38*	0,19	-0,46**
Al <sup>3+</sup>	0,37*	-0,12	-0,52**	0,20	-0,47**
SB	-0,56**	0,02	0,52**	-0,42*	0,19
V	-0,54**	0,07	0,57**	-0,41*	0,31
CTC	0,05	-0,31	-0,26	0,14	-0,38*
Ativ. argila	0,02	-0,27	-0,22	0,08	-0,42*
C	-0,05	-0,30	-0,27	0,01	-0,52**
Areia	-0,47**	0,65**	0,62**	-0,60**	0,17
Silte	-0,14	-0,61**	-0,07	0,17	0,01
Argila	0,74**	-0,30	-0,71**	0,65**	0,04
Silte/argila	-0,18	-0,59**	-0,01	0,12	-0,01

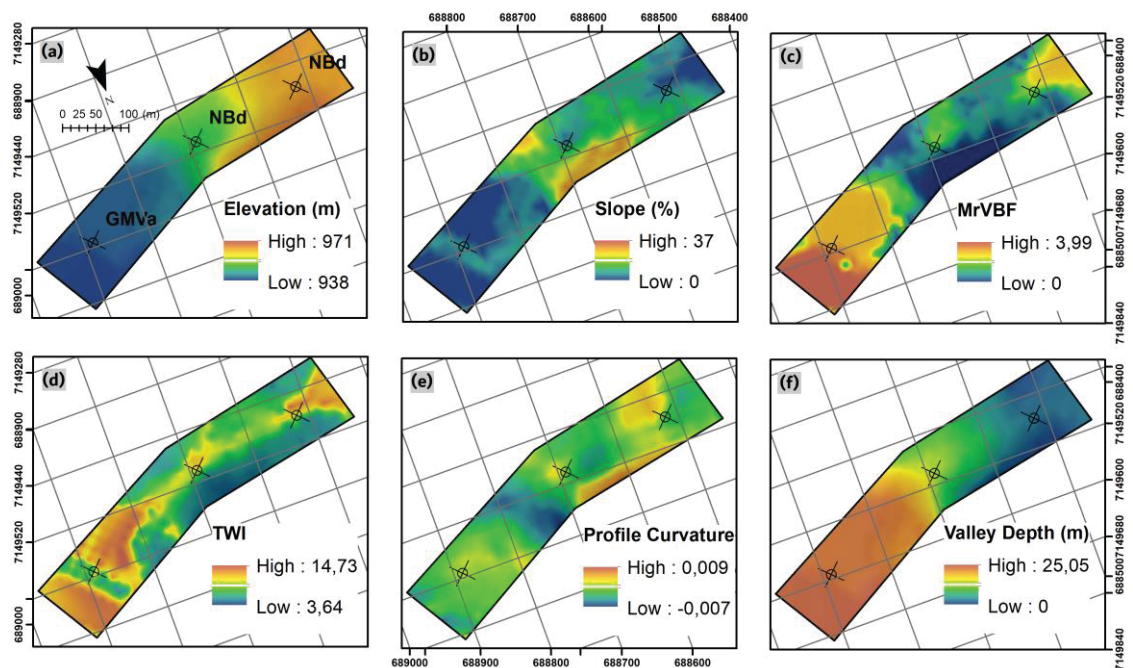
H+Al: Acidez potencial. SB: Soma de bases trocáveis. V: Saturação por bases. CTC: Capacidade de troca de cátions a pH 7,0. C: Carbono orgânico total (método de combustão seca – CHNS/O). TWI: *topographic wetness index*. MrVBF: *multi-resolution valley bottom flatness index*. (\*\*) A correlação é significativa no nível 0,01. (\*) A correlação é significativa no nível 0,05. FONTE: O autor (2020).

FIGURA 2 – ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS GERADOS DO MDE PARA A TOPOSSEQUÊNCIA NA SERRA DO MAR (SM).



FONTE: O autor (2020).

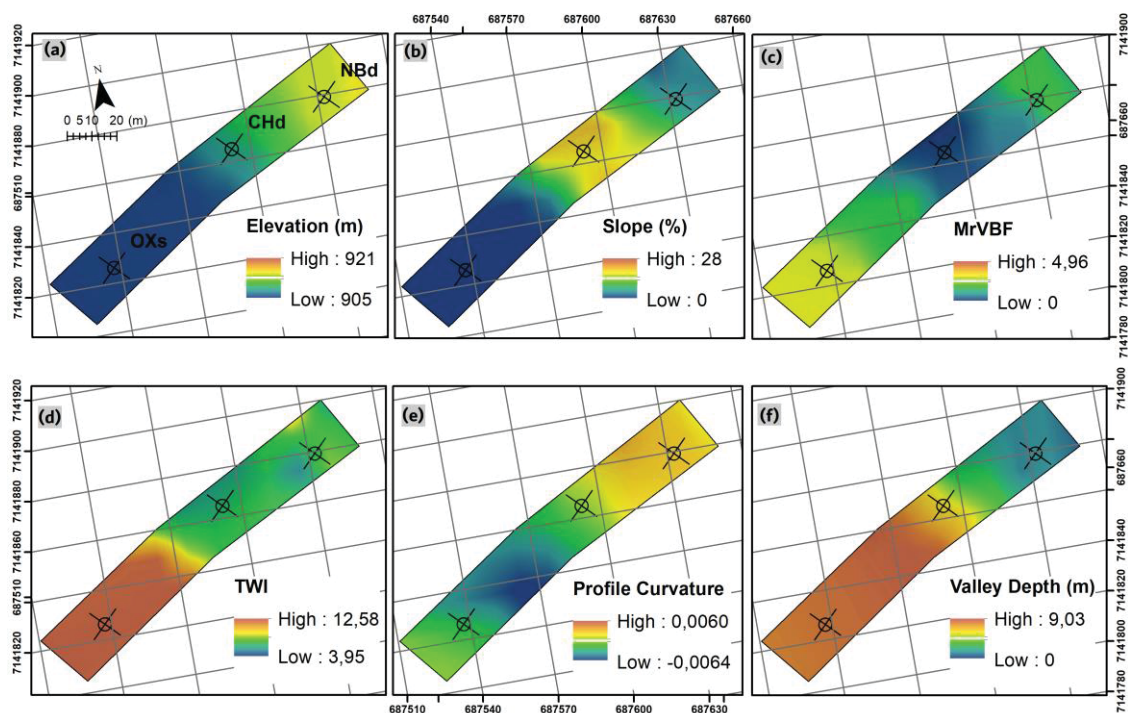
FIGURA 3 – ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS GERADOS DO MDE PARA A TOPOSSEQUÊNCIA NO PLANALTO DE CURITIBA (PC).



FONTE: O autor (2020).

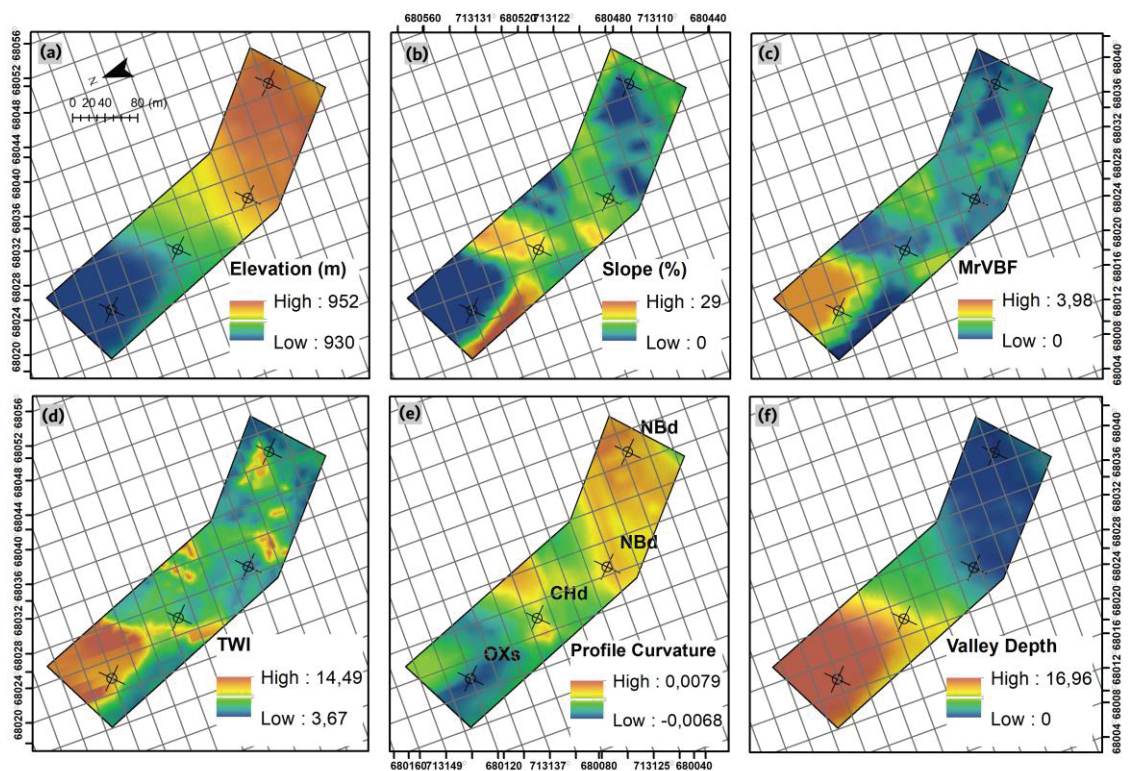


FIGURA 4 – ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS GERADOS DO MDE PARA A TOPOSSEQUÊNCIA NA TRANSIÇÃO ENTRE OS PLANALTOS DE CURITIBA E DO ALTO IGUAÇU (PC/PA).



FONTE: O autor (2020).

FIGURA 5 – ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS GERADOS DO MDE PARA A TOPOSSEQUÊNCIAS NO PLANALTO DO ALTO IGUAÇU (PA).



FONTE: O autor (2020).

Na TABELA 5 é demonstrado o comportamento dos valores dos atributos topográficos extraídos para os perfis observados nas topossequências.

Nos compartimentos do PC/PA e PA, os Organossolos Háplicos Sápricos típicos correspondentes aos perfis PC/PA-3 e PA-4 apresentaram, respectivamente, valores de 11,68 e 12,05 para o TWI, e 2,71 e 1,92 para o MrVBF, com o valor de *slope* igual em ambos os perfis (0,2 %).

O perfil SM-1, classificado como Organossolo Fólico Hêmico lítico (OOy), localizado na cota altimétrica de 1.192 m, possui valores de *slope* (33%), TWI (4,98) e MrVBF (0,00), opostos aos dos perfis citados anteriormente (PC/PA-3 e PA-4).

Semelhante ao SM-1, o perfil de Neossolo Litólico Distrófico leptofragmentário (RLd, SM-2) localizado no terço superior da topossequência, a 1.096 m de altitude, apresentou *slope* de 32%, TWI de 5,79 e MrVBF de 0,00 (TABELA 5).

Na SM os perfis de Nitossolo Háplico Distrófico típico (NXd, SM-3), e o Nitossolo Háplico Eutrófico típico (NXe, SM-4), ocorrem em relevos ondulados e fortemente ondulados (*slope* de 20 e 24%, respectivamente), e apresentaram valores de MrVBF menores que 0,5. O TWI foi de 9,66 no NXd, e 6,46 para o NXe; em ambos perfis o valor de *profile de curvature* obtido foi -0,001.

Os Nitossolos Brunos Distróficos húmicos no PC (NBd) perfis PC-1 e PC-2) estão situados em relevo suave ondulado, e apresentaram de modo respectivo, valores semelhantes de TWI 10,27 e 10,91; de MrVBF 1,97 e 1,96; e igual comportamento para o *profile curvature*, com valor de 0,00.

O perfil classificado como Gleissolo Melânico Ta Alumínico húmico (GMva, PC-3), com *slope* de 6%, apresentou *valley depth* de 132,36 e *profile curvature* de 0,001 (relevo côncavo). O MrVBF foi de 3,89; e o valor de TWI de 8,66 no PC-3.

No compartimento PC/PA o perfil de Nitossolo Bruno Distrófico húmico (NBd, PC/PA-1) está situado em relevo suave ondulado (*slope* de 6%), condição de sedimentação, com valor de MrVBF de 1,91; e com TWI de 8,19. No perfil, o *solum* (horizontes A e B) apresentou mais de 1,60 m de profundidade (TABELA 3).

Já no PA os Nitossolos Brunos Distróficos típicos (NBd, PA-1 e PA-2), distinguíram-se nos valores de *slope*, sendo os valores respectivamente de 4% (suave ondulado) e 13% (ondulado). O valor de MrVBF foi de 0,61 e 0,18 respectivamente, para o PA-1 e o PA-2.

Os Cambissolos Húmicos Distróficos latossólicos (CHd), no compartimento PC/PA (PC/PA-2) e no PA (PA-3), apresentaram valores de *slope* de 17% para ambos (relevo ondulado), e TWI de 6,59 e 6,74, respectivamente; o MrVBF foi de 0,19 no PC/PA-2 e 0,30 para o PA-3.

TABELA 5 – ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS OBTIDOS DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO (MDE) PARA OS PERFIS OBSERVADOS.

Perfil	Classe de solo SiBCS	Elevação (m)	Slope (%)	TWI	MrVBF	Profile Curvature	Valley Depth (m)
<b>SM</b>							
SM-1	OOy	1.192	33	4,98	0,00	0,006	0,96
SM-2	RLd	1.096	32	5,79	0,00	-0,001	41,05
SM-3	NXd	1.015	20	9,66	0,07	-0,001	101,38
SM-4	NXe	960	24	6,46	0,00	-0,000	131,05
<b>PC</b>							
PC-1	NBd	964	4	10,27	1,97	0,000	104,50
PC-2	NBd	940	3	10,91	1,96	0,000	118,48
PC-3	GMva	939	6	8,66	3,89	0,001	132,36
<b>PC/PA</b>							
PC/PA-1	NBd	914	6	8,19	1,91	0,002	34,82
PC/PA-2	CHd	908	17	6,59	0,19	-0,001	40,99
PC/PA-3	OXs	905	0,2	11,68	2,71	0,002	13,07
<b>PA</b>							
PA-1	NBd	951	4	6,10	0,61	0,002	13,07
PA-2	NBd	948	13	5,21	0,18	0,002	16,67
PA-3	CHd	937	17	6,74	0,30	0,000	27,66
PA-4	OXs	930	0,2	12,05	1,92	-0,005	34,41

TWI: *topographic wetness index*. MrVBF: *multi-resolution valley bottom flatness index*.

FONTE: O autor (2020).

### 3.5.3 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM

#### 3.5.3.1 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

No classificador supervisionado o método que melhor representou os agrupamentos para as topossequências da SM e da transição PC/PA foi o *binary encoding*. Nas topossequências do PC e PA o método utilizado no algoritmo de classificação supervisionada foi o *maximum likelihood*.

A topossequência da SM foi agrupada em três prováveis classes, em que os limites dos agrupamentos coincidiram com a classificação até o 2º nível categórico, dos perfis classificados como: Organossolo Fólico, Neossolo Litólico e Nitossolo Háptico (FIGURA 6).

Nesta topossequência, os dois perfis classificados como Nitossolos Hápticos (NXd, SM-3; e NXe, SM-4) foram mantidos dentro do mesmo agrupamento. A FIGURA 6a demonstra o comportamento do classificador supervisionado para gerar os limites das classes.

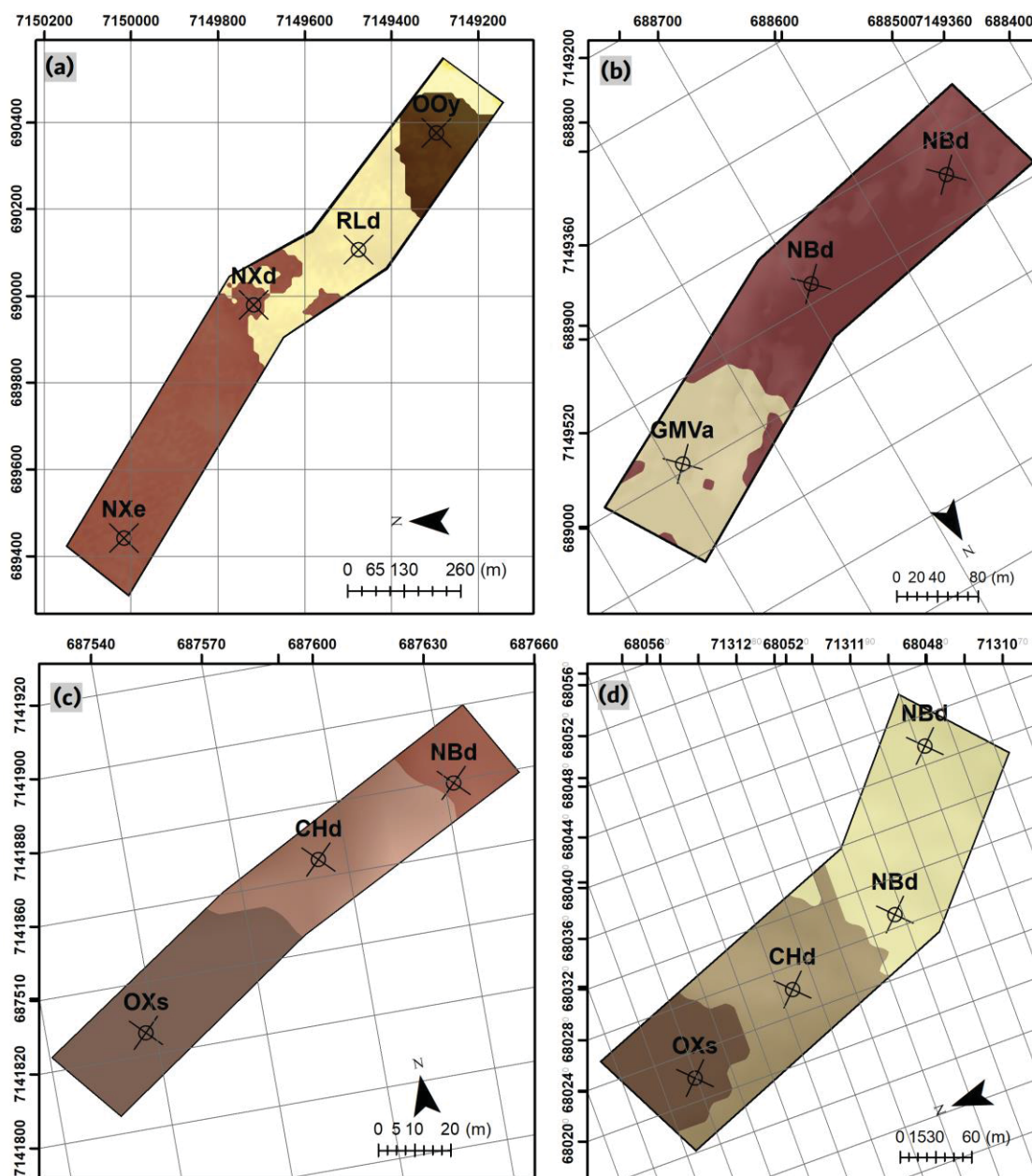
Os perfis de Nitossolos Brunos Distróficos húmicos no PC (NBd, PC-1 e PC-2) foram separados do agrupamento que representou o Gleissolo Melânico Ta Alumínico húmico (GMva, PC-3) (FIGURA 6b).

Na área da topossequência PC/PA os agrupamentos diferenciaram notoriamente os perfis de solos, prevendo a separação em: Nitossolo Bruno, Cambissolo Húmico e Organossolo Háptico (FIGURA 6c).

No PA o classificador também discriminou a topossequência em três classes, que coincidiram com os perfis classificados como: Nitossolo Bruno, Cambissolo Húmico e Organossolo Háptico. Com comportamento semelhante ao da SM, o algoritmo do classificador identificou os perfis de Nitossolos Brunos (PA-1 e PA-2) em um único agrupamento (FIGURA 6d)



FIGURA 6 – DISTRIBUIÇÃO DOS AGRUPAMENTOS REALIZADOS PELO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA DE IMAGEM PARA AS TOPOSSEQUÊNCIAS SM (a), PC (b), PC/PA (c), E PA (d).



FONTE: O autor (2020).

### 3.5.3.2 CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA

Na classificação não supervisionada (algoritmo *K-Means*), assim como na classificação supervisionada, as topossequências da SM, PC, transição PC/PA e PA foram segmentadas em três diferentes *clusters*, no entanto com diferentes delimitações para cada um como é demonstrado na FIGURA 7. Na

análise de *clusters* foi usado o método *hill-climbing* (Rubin, 1967) padrão no classificador do SAGA GIS.

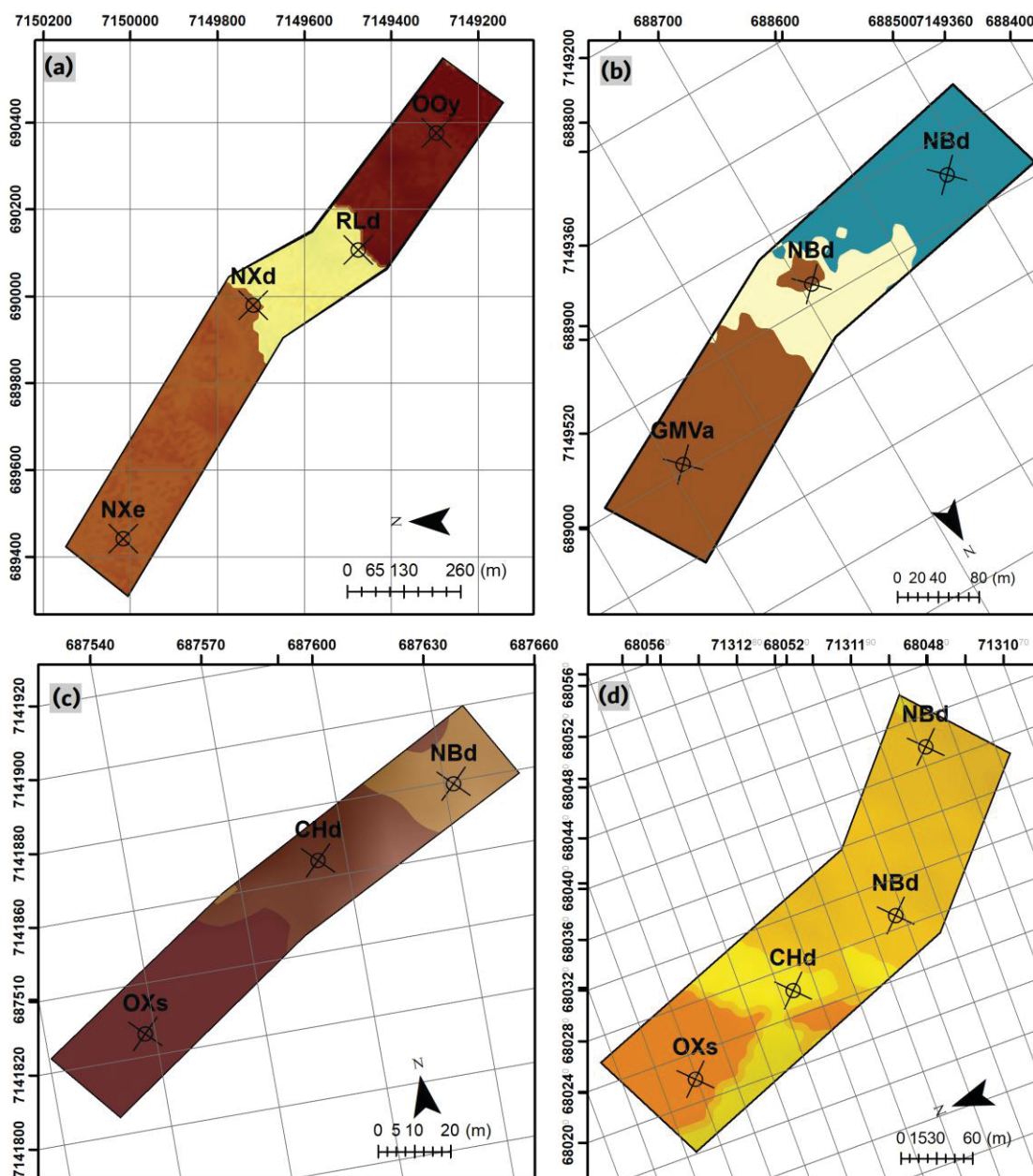
Para a SM os perfis de Nitossolos Háplicos (NXd) foram separados da delimitação do Neossolo Litólico (RLd), e na sequência com visada ascendente na topografia, também discriminou o Organossolo Fólico (OOy) (FIGURA 7a).

A topossequência do PC foi separada pelo classificador não supervisionado em três agrupamentos, sendo que os Nitossolos Brunos Distróficos húmicos (NBd, PC-1 e PC-2) não foram representados no mesmo agrupamento, e o perfil de Gleissolo Melânico Ta Alumínico húmico (GMva, PC-3) foi separado em um terceiro agrupamento (FIGURA 7b).

Assim como na SM, a topossequência da transição PC/PA, foi subdividida em *clusters* que diferenciaram os perfis de Nitossolo Bruno, Cambissolo Húmico e Organossolo Háplico classificados na área (FIGURA 7c).

Na topossequência do PA o classificador não supervisionado foi capaz de agrupar como na SM, os perfis de Nitossolos Brunos (PA-1 e PA-2) em um *cluster*, e em outros dois agrupamentos os perfis de Cambissolo Húmico e Organossolo Háplico (FIGURA 7d).

FIGURA 7 – DISTRIBUIÇÃO DOS AGRUPAMENTOS REALIZADOS PELO MÉTODO DE CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA DE IMAGEM, PARA AS TOPOSEQUÊNCIAS SM (a), PC (b), PC/PA (c), E PA (d).



FONTE: O autor (2020).

### 3.5.4 NOVAS UNIDADES DE MAPEAMENTO IDENTIFICADAS

Para a representação de novas unidades de mapeamento nas toposequências, com o apoio das observações de campo, considerou-se a classificação supervisionada de imagem que melhor concordou com as variações de solos dentro das toposequências.

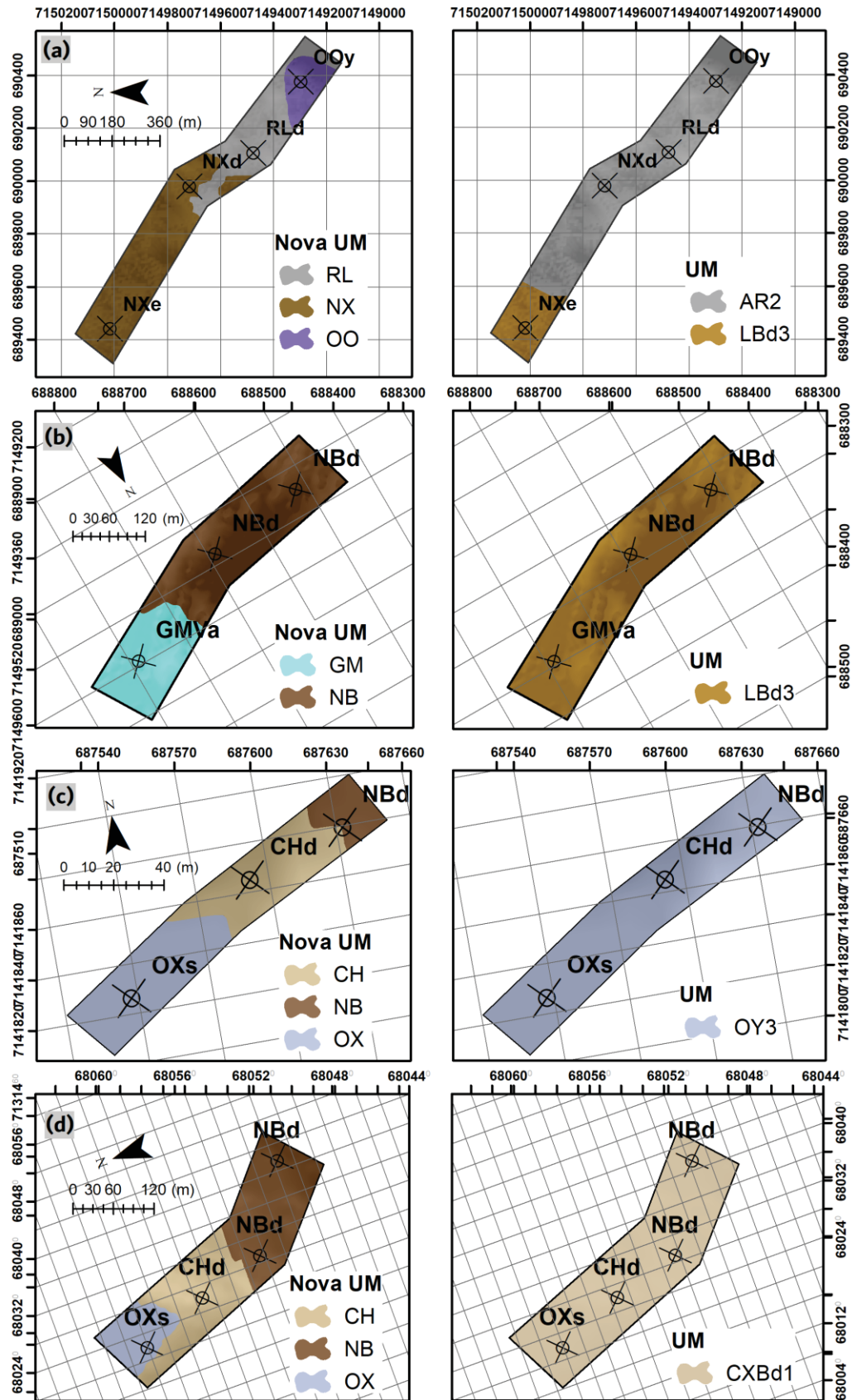
Utilizando o agrupamento proposto pelo classificador, foram vetorizadas nas topossequências a representação da ocorrência das classes de solos identificadas a campo.

Para a observação dos limites dos agrupamentos deve ser considerado que a transição entre as classes de solos na paisagem acontece de maneira difusa, assim os agrupamentos discriminados podem ser considerados como prováveis delimitações da distribuição de solos que ocorrem nestas áreas.

De acordo com os perfis de solos observados, com as delimitações da classificação supervisionada, e associando-se o comportamento dos atributos topográficos foi proposto um mapa da distribuição de classes de solos nas topossequências, como está representado na FIGURA 8.

As delimitações sugeridas foram denominadas nos mapas produzidos pelo trabalho, de novas unidades de mapeamento; enquanto que as unidades publicadas no Mapa de Solos do Estado do Paraná (Bhering et al., 2008) mantiveram a denominação de unidades de mapeamento (UM).

FIGURA 8 – MAPAS DA OCORRÊNCIA DE CLASSES DE SOLOS (NOVA UNIDADE DE MAPEAMENTO) NAS TOPOSSEQUÊNCIAS ESTUDADAS: SM (a), PC (b), PC/PA (c), E PA (d), E COMPARATIVO COM A DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES DE MAPEAMENTO EM ESCALA 1:250.000 (BHERING et al., 2008).



FONTE: O autor (2020).



Consequentemente a esta proposta de distribuição de classes nas topossequências em estudo, na TABELA 6 são apresentados valores médios dos atributos topográficos para cada agrupamento de classes de solos, considerando até o 2º nível categórico.

Para a delimitação dos Nitossolos Brunos do PC os atributos topográficos demonstraram, em geral, comportamento semelhante aos observados na topossequência da transição PC/PA e do PA. Para os Nitossolos Brunos os valores médios obtidos de TWI foram de 7,6; 7,2 e 6,7; juntamente com o MrVBF de 0,99; 1,52 e 0,65; respectivos no PC, PC/PA e PA.

Formados em relevos suaves ondulados, também ocorrendo em relevo ondulado (*slope* médio de 6 a 11%), observa-se que o *valley depth* para a classe dos Nitossolos Brunos nas topossequências indicaram os menores valores (1,2 m no PC/PA; e 0,8 m no PA). Na classe dos Organossolos Háplicos do PC/PA e PA os valores de TWI (11,60 e 12,07), com os de MrVBF (2,57 e 2,67, respectivamente) associam-se ao relevo plano (*slope* médio menor que 1%). A classe dos Gleissolos Melânicos no PC foi representada pelas médias de MrVBF de 3,22 e TWI de 10,4, em relevo plano (*slope* 2%).

Na SM, a ocorrência do Organossolo Fólico foi identificada por atributos topográficos diferentes daqueles que são associados ao ambiente palustre dos OXd (no PC/PA e PA), com valor médio para TWI de 5,05; MrVBF de 0; e *slope* de 32%.

A classe dos Cambissolos Húmicos, encontrados em áreas com relevo ondulado, apresentou o mesmo comportamento nas topossequências do PC/PA e PA, com valores de MrVBF médios de 0,70 (PC/PA) e 0,82 (PA).

Os Neossolos Litólicos na SM, são discriminados por estarem em áreas declivosas, com *slope* médio de 35%, o que é representado pelo atributo MrVBF médio de 0,04; e TWI com média de 6,1 (os valores para o atributo TWI variaram de 4,31 a 8,74); e *profile curvature* de -0,001 que expressa uma superfície com tendência a concavidade. Em todas as topossequências do estudo o atributo *valley depth* apresentou elevado valor médio para as classes de solos localizadas no sopé.

TABELA 6 – VALORES MÉDIOS DOS ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS PARA CADA NOVA UNIDADE DE MAPEAMENTO CORRESPONDENTE AS CLASSES DE SOLOS NAS TOPOSSEQUÊNCIAS.

<b>Classes de Solos</b>	<b>MrVBF</b>	<b>Profile Curvature</b>	<b>Slope (%)</b>	<b>TWI</b>	<b>Valley Depth (m)</b>
<b><u>SM</u></b>					
Organossolo Fólico (OO)	0,00	0,002	32	5,1	8,5
Neossolo Litólico (RL)	0,04	-0,001	35	6,1	50,0
Nitossolo Háplico (NX)	0,37	-0,000	16	6,5	144,8
<b><u>PC</u></b>					
Nitossolo Bruno (NB)	0,99	0,00	11	7,6	9,6
Gleissolo Melânico (GM)	3,22	0,00	2	10,4	23,2
<b><u>PC/PA</u></b>					
Nitossolo Bruno (NB)	1,52	0,002	6	7,2	1,2
Cambissolo Húmico (CH)	0,70	-0,001	14	7,6	6,0
Organossolo Háplico (OX)	2,57	-0,002	0,2	11,6	8,2
<b><u>PA</u></b>					
Nitossolo Bruno (NB)	0,65	0,002	7	6,7	0,8
Cambissolo Húmico (CH)	0,82	-0,001	13	7,3	10,1
Organossolo Háplico (OX)	2,67	-0,003	0,8	12,1	16,8

TWI: *topographic wetness index*. MrVBF: *multi-resolution valley bottom flatness index*.  
 FONTE: O autor (2020).

### 3.6 DISCUSSÕES

#### 3.6.1 TOPOSSEQUÊNCIAS E CLASSES DE SOLOS

Ao considerar que o perfil de Organossolo Háplico Distrófico típico (OXs, PA-4) localizado no compartimento do PA, não figura como inclusão da UM – CXBd1, na qual está inserido, expõem-se a dificuldade do mapeamento convencional em representar a classe de solo, o que compromete a sua devida proteção ambiental.

Na topossequência PC/PA a UM OY3, que inclui Organossolos Mêsicos e Cambissolos Háplicos distróficos, a ocorrência do Cambissolo Húmico Distrófico típico (PC/PA-2) com o desenvolvimento do horizonte A húmico no perfil caracterizado pela cor e conteúdo de C é relacionado ao clima frio e úmido na região subtropical do Brasil.

Já a ocorrência do perfil de Nitossolo Bruno Distrófico húmico, não inserido na UM (OY3), pode ser devido a localização da topossequência amostrada entre o Planalto de Curitiba e as áreas do Planalto do Alto Iguaçu, em que a ocorrência



desta classe de solos pode ser explicada pela influência do Planalto de Curitiba que apresenta áreas identificadas como UM LBd3 (associação Latossolos Brunos e Cambissolos Háplicos), e que inclui Podzólicos Vermelho-Amarelos (atualmente inseridos no SiBCS como Argissolos e Nitossolos). Desta maneira o perfil PC/PA-1 (NBd) têm melhor relação com esta UM adjacente no compartimento do Planalto de Curitiba.

A classe dos Nitossolos também tem a sua distribuição espacial no PC/PA não considerada nas inclusões da UM OY3. Na SM os perfis de Nitossolos (SM-3 e SM-4), embora estejam localizados em UM's diferentes, admitem em suas inclusões Latossolos e Podzólicos Vermelho-Amarelos.

As classes dos Argissolos e Nitossolos eram consideradas anteriormente pelo Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS 1ª edição; Embrapa, 2003) como Podzólicos Vermelho-Amarelos, e a característica que separa as duas classes está na ocorrência de um gradiente textural, com incremento de argila maior do que  $200 \text{ g kg}^{-1}$  em subsuperfície, e a policromia nos Argissolos.

Comparando os Nitossolos aos Latossolos, de acordo com Cooper e Vidal-Torrado (2005), podemos considerar que essas classes possuem similaridades, se diferenciando fundamentalmente pelo grau da estrutura do horizonte B diagnóstico, e pela quantidade e grau de cerosidade, no máximo pouca e fraca para os Latossolos.

### 3.6.2 ATRIBUTOS TOPOGRÁFICOS

Observa-se que os padrões espaciais reproduzidos nos mapas dos atributos topográficos *multi-resolution valley bottom flatness index* (MrVBF), *profile curvature*, *slope*, *topographic wetness index* (TWI) e *valley depth*, são notoriamente relacionados entre si e podem ser variáveis úteis na caracterização do desenvolvimento pedogenético na paisagem.

Os atributos topográficos selecionados pelo teste de Spearman indicaram uma relação com a distribuição dos tipos de solo observados no trabalho de campo. Utilizado para indicar áreas propícias a deposição de material em fundos de vale, o MrVBF (Gallant e Dowling, 2003) separou as áreas baixas e planas de Organossolos Háplicos com valores maiores que 0,5.

Em área na Formação Guabirota (depósitos sedimentares), Prates et al. (2012) encontraram valores de MrVBF superiores a 2 para solos sob influência do lençol freático próximo a superfície permanecendo por longos períodos do ano.

Em igual condição geológica, no estudo de Oliveira Jr. et al. (2014) sobre a distribuição espacial de atributos mineralógicos, os valores de MrVBF maiores do que 0,5 de maneira geral, associaram-se às áreas com menores declividades e com altos teores de  $Al^{3+}$  na forma amorfa, e estes consecutivamente com valores mais altos de carbono orgânico.

Ao considerar que o MrVBF obteve correlação positiva com o teor de  $Al^{3+}$ , verifica-se que áreas com processos de deposição, e menor declividade do terreno (*slope*), apresentam altos teores de  $Al^{3+}$ . Nos perfis de Organossolos Háplicos Sápricos típicos (OXs, PC/PA-3 e PA-4) localizados em áreas de relevo plano a suave ondulado, observou-se elevado teor de  $Al^{3+}$ , e ainda alta acidez potencial.

Logo, no presente estudo os valores de MrVBF acima de 1,5 podem representar processos como a paludização, relacionados ao elevado teor de  $Al^{3+}$  trocável (Benites, 2012) e enriquecimento de C (Pereira et al., 2005) para a formação dos Organossolos Háplicos.

Nessas áreas o comportamento do atributo indica ainda deposições com acréscimo de partículas mais finas, caracterizando após a queima da MO na análise granulométrica, mais de 60% de argila nas amostras dos horizontes de Organossolos Háplicos Distróficos típicos (Amirian-Chakan et al., 2019). À medida que o relevo apresenta maior declividade (*slope*), a fração argila reduz (relação inversa com *slope*), e a areia tende a aumentar (relação direta com *slope* e *profile curvature*).

Utilizado para estabelecer processos hidrológicos, o TWI descreve a tendência de uma área em acumular água (Liang e Chun Chan, 2017, Mattivi et al., 2019). Com um comportamento similar ao MrVBF, os elevados valores para o atributo TWI coincidiram com as áreas de topografia relativamente plana, revelando áreas de acúmulo de umidade e sedimentos, e admitindo os maiores teores de  $Al^{3+}$ , com consequente menor soma de bases e saturação por bases.

Os baixos valores de *slope*, associados com elevados valores de MrVBF e TWI representaram a ocorrência dos Organossolos Háplicos, ou seja, esse conjunto de atributos representaram um ambiente de acúmulo de umidade e que, pela baixa declividade (0,2%), permitem que a água permaneça por longos períodos no local.

Ao formar um ambiente anóxico, o metabolismo dos microrganismos decompositores da MOS é lento, acumulando material orgânico que passa por processo de humificação, assim criando um ambiente de paludização; o que favorece o enriquecimento de carbono orgânico na turfa (Pereira et al., 2005; Adhikari et al., 2014; Guo et al., 2019)

Apesar de se enquadrarem no mesmo nível de Ordem, com características químicas semelhantes (elevados teores de  $Al^{+3}$  trocável, acidez potencial e C) os Organossolos se diferem ao nível de subordem quanto o ambiente de ocorrência (Silva Neto et al. 2019).

A classe do Organossolo Fólico (OOy) encontrado em maior altitude, foi separada a nível de subordem (2º nível categórico) dos Organossolos Háplicos (OX), encontrados em planícies aluviais, pelos valores de MrVBF acima de 1,5 para OX, e abaixo de 0,5 para OO, além do TWI com valores maiores do que 8 para OX, e menor do que 6 para OO.

Já o Organossolo Fólico foi observado em local com elevado *slope*, e com valor de MrVBF comumente atribuído à processos erosivos (Mckenzie e Gallant, 2007). Todavia, o fator determinante para a ocorrência desta classe no estudo, foi a cota altimétrica que superou os 1.100 metros (Valladares, 2003; Pereira et al., 2005).

Em elevadas altitudes, apesar de não haver excesso de água, a decomposição da matéria orgânica é atenuada pelas temperaturas mais baixas e pelo vento constante, fazendo com que os solos acumulem mais de 80 g kg<sup>-1</sup> de C orgânico (requisito para horizonte hístico), com as espessuras preconizadas pelo SiBCS (Santos et al., 2018).

Assim, devido a classe dos Organossolos Fólicos ocorrer em áreas altimontanas, compreende-se pelo elevado teor de  $Al^{+3}$  neste solo, que houve uma interferência na análise de correlação com o atributo topográfico *valley depth*.

Considera-se que a inversa relação dos valores de C com o *valley depth* é influenciada pela diferença altimétrica, e principalmente pela inclinação do terreno entre os perfis de Organossolos Háplicos Sápricos típicos (OXs) no PC/PA (905 m de altitude e 0,2%) e PA (930 m de altitude e 0,2% de declividade), e o perfil classificado como Organossolo Fólico Hêmico típico (OOy) (1.192 m de altitude, e 33% de declividade).

Ainda sobre o MrVBF, os valores abaixo de 0,5 para os Nitossolos Háplicos da SM indicaram processos ligeiramente erosivos, de fluxo de material maiores do

que os de acumulação (McKenzie e Gallant, 2007), no entanto nessas áreas há um certo equilíbrio entre os processos erosivos e de deposição, devido ao relevo no local ter uma tendência mais côncava (*profile curvature*), onde o aporte de sedimentos pode não ser representado de forma fidedigna pelo atributo topográfico.

No perfil de Nitossolo Háplico Distrófico típico (NXd, SM-3) o TWI maior do que 8, e o *profile de curvature* com valor negativo demonstram a condição do relevo mais côncavo, tendendo a concentrar o fluxo de água superficial.

O MrVBF maior do que 0,5 no compartimento do PA para o Nitossolo Bruno Distrófico húmico (NBd, PA-1), representa uma situação de sedimentação; enquanto no PA-2 também classificado como Nitossolo Bruno Distrófico húmico, o mesmo atributo com valor abaixo de 0,5 sugere uma posição com predomínio de movimentos superficiais de materiais, ou seja, com a erosão ou morfogênese superando a deposição ou pedogênese. No entanto, pela descrição morfológica o perfil PA-2 apresenta horizontes A1 e A2 com espessuras de 20 e 25 cm, respectivamente, com 80 cm de espessura do *solum*.

Nos perfis de Cambissolos Húmicos Distróficos latossólicos (CHd, PC/PA e PA), o TWI entre 5 a 7 identificou áreas moderadamente drenadas (Mattivi et al., 2019). Os valores intermediários para MrVBF ( $0,5 < \text{MrVBF} < 2$ ), caracterizaram a ocorrência de Cambissolos, os quais são solos que apresentam um desenvolvimento bastante heterogêneo, por sobretudo desenvolverem-se em diferentes condições de relevo.

Esses valores intermediários influenciam na intensidade dos processos pedogenéticos, motivo pelo qual essa classe não apresenta, no horizonte B, evidências de um processo específico em grau avançado.

Para a classe dos Cambissolos, não foi possível estabelecer valores de atributos topográficos que representassem sua ocorrência na área, concordando com o encontrado por Rasaei e Bogaert (2019). Estes autores utilizaram regressão logística multinomial, e observaram que os atributos *slope* e *valley depth* não foram representativos para a classe dos Cambissolos, provavelmente por serem encontrados em áreas transicionais na paisagem.

Os maiores valores de *slope* compreendem solos pouco desenvolvidos, como o Neossolo Litólico Distrófico leptofragmentário (RLd, SM-2), fato que está intimamente relacionado aos processos erosivos acentuados, e atenuado intemperismo químico.

Devido ao fluxo de água seguir preferencialmente em sentido lateral, há menor tempo de contato com o solo ou o produto de alteração da rocha, reduzindo de forma significativa as reações químicas, o que é evidenciado pela relação silte/argila mais elevada para essas áreas, conferindo um maior grau de intemperismo.

Em oposição, áreas com menores valores de declividade identificaram solos mais intemperizados, onde o sentido de escoamento da água é preferencialmente vertical, o que aumenta o tempo de contato com o solo e intensifica os processos de reação química e, conseqüentemente, a pedogênese.

Entretanto, o TWI entre 5 e 7 (Mattivi et al., 2019) para este perfil de RLd, tem relação com o *profile curvature*, indicando maior concavidade da superfície local, o que favorece uma breve concentração de umidade.

Devido a inversa correlação entre o atributo *valley depth* e as características químicas atividade da argila e a CTC em pH 7,0; é indicada a ocorrência da classe do RLd na SM (SM-2), o que sugere maiores teores de argilominerais 2:1 nos solos das áreas de relevo movimentado, considerando a menor evolução dos solos nestas paisagens (Ferreira et al., 2018).

O atributo *valley depth* representa as diferenças verticais em metros do pixel onde o perfil está localizado até o topo da encosta ao seu entorno. Por isso, convém observar o comportamento deste atributo em cada topossequência, comparando os valores em cada perfil.

Em todas as topossequências o maior valor de *valley depth* condiz com os perfis localizados no sopé das topossequências (com menor distância em relação ao canal de drenagem mais próximo), sendo assim também um bom preditor para áreas mais baixas do relevo (Abdel-Kader, 2011; Lóczy et al, 2012; Skentos e Ourania, 2017). No trabalho de Gomes et al. (2019), o *valley depth* foi um dos principais atributos selecionados em modelos para o mapeamento do estoque de carbono em solos do Brasil.

### 3.6.3 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM E A DISTRIBUIÇÃO DAS CLASSES DE SOLOS

Os métodos hierárquicos de classificação nas topossequências estudadas, foram ferramentas geoespaciais promissoras para delimitar os diferentes

desenvolvimentos pedogenéticos representados pelas classes de solos nas topossequências.

Embora ocorreram variações nas delimitações das classes agrupadas, os dois métodos podem ser utilizados para a representação das novas unidades de mapeamento nas topossequências.

As topossequências estudadas são relativamente pequenas, e devido a resolução espacial do pixel de 12,5 m, as áreas de treinamento tenderam a cobrir uma variação grande de informações nas imagens; no entanto o classificador supervisionado melhor representou os prováveis componentes das UM's, conforme a identificação de campo.

Mesmo compreendendo que existem incertezas inclusas nos agrupamentos da classificação, não foi objeto de estudo avaliar a precisão dos limites dos solos. Desta forma, a proposta de representar a distribuição das classes de solos, com o suporte da classificação supervisionada, produziu um mapa de agrupamento espacialmente coerente.

Salientamos que apesar de exigir que o usuário estabeleça locais de treinamento e a entrada de parâmetros herdados do MDE (atributos topográficos), a classificação supervisionada requer uma correlação entre as variáveis preditoras e características dos solos, que no estudo foram estabelecidas pela matriz de correção de Spearman (Hengl et al., 2007; Zeraatpisheh et al., 2019).

No mapa com as novas unidades de mapeamento, as médias dos atributos topográficos TWI e MrVBF nos compartimentos no PC/PA e PA, para a classe dos Nitossolos Brunos, demonstram uma condição onde os processos de sedimentação dominam os erosivos, em ambientes moderadamente drenados; favorecendo a ocorrência de solos com maior profundidade.

Nestes mesmos compartimentos, para a classe dos Organossolos Háplicos o TWI e o MrVBF evidenciaram acúmulo de umidade, por estes solos estarem em fundos de vale e relevo plano. O MrVBF encontrado no Organossolo Fólico sugere predomínio de processos de denudação, com a ocorrência de solo raso ( $\leq 50$  cm de profundidade), concordando com o *slope* médio acentuado, característicos da fase altimontana.

Para a classe dos Cambissolos Húmicos, com solos de diferentes graus de desenvolvimento, no PC/PA e PA as médias obtidas de MrVBF sugerem o predomínio de processos de sedimentação, no entanto de maneira menos intensa

também ocorrem processos erosivos. A classe dos Neossolos Litólicos na SM, apresenta intenso processo erosivo também indicado pelo atributo MrVBF.

A identificação dos solos que ocorrem nos diferentes compartimentos representados nas topossequências, possibilitou a melhor compreensão das variações de ocorrência nas áreas das pequenas propriedades rurais.

Nos trabalhos de levantamento de solos disponíveis em escalas 1:250.000 e 1:600.000, as topossequências estudadas foram identificadas em uma ou duas UM's. Neste estudo, com o uso dos atributos topográficos e das ferramentas de classificação de imagens, foi possível estabelecer limites das classes de solos, de forma a separar inclusões que ocorrem em uma menor distância do que aquela preconizada pelo levantamento na escala citada anteriormente.

A aplicação desta técnica pode ajustar os contornos das UM's no mapa de solos do Estado do Paraná, desmembrar inclusões e associações, ou até mesmo identificar classes não observadas em trabalhos anteriores, viabilizando a confecção de mapa em escala de semidetalhe com menor tempo e custo.

Com isso, os mapas das topossequências podem ser utilizados como apoio para alertar que foram encontrados solos diferentes do que as associações e suas inclusões assumem nas UM's.

Assim, podem fornecer melhores mapas para uma avaliação ágil, no intuito de colaborar com ações ou políticas públicas engajadas para o adequado uso e manejo dos solos. Sugere-se para um trabalho de mapeamento, que a validação dos limites entre os tipos de solos poderá ser melhor verificada a partir de tradagens adicionais nos locais estudados.

### 3.7 CONCLUSÕES

Os atributos topográficos selecionados pelo teste de correlação, *multi-resolution valley bottom flatness index* (MrVBF), *profile curvature*, *slope*, *topographic wetness index* (TWI) e *valley depth*, fornecem informações básicas para apoiar na representação de classes de solos com maior detalhe.

Os métodos utilizados de classificação de imagens supervisionada e não supervisionada representaram a distribuição das classes de solos descritas nos perfis. Contudo com o apoio da classificação supervisionada foi possível estabelecer os limites das classes de solo que corroborem com as observações de campo, mas



não desconsiderando que a transição entre as classes de solo se dá de forma difusa, e os limites representados neste estudo são meramente artificiais.

Assim, os mapas apresentados sugerem que a delimitação das classes de solos está próxima da verdade de campo. Devemos considerar que o mapeamento tradicional de solos é igualmente importante por ajudar com dados para o desenvolvimento de melhores mapas de solos.

### 3.8 REFERÊNCIAS

ABDEL-KADER, F. H. Digital soil mapping at pilot sites in the northwest coast of Egypt: A multinomial logistic regression approach. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**, v. 14, p. 29-40, 2011.

ADHIKARI, K. et al. Digital mapping of soil organic carbon contents and stocks in Denmark. **PLoS ONE**, v. 9, n. e105519, 2014.

AMIRIAN-CHAKAN, A. et al. Some practical aspects of predicting texture data in digital soil mapping. **Soil and Tillage Research**, v. 194, n.104289, 2019.

BENITES, V. M. Caracterização de solos e de substâncias húmicas em áreas de vegetação rupestre de altitude (Tese de Doutorado). Viçosa, **Universidade Federal de Viçosa**, 71p., 2002.

BHERING, S. B. et al. Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada. Rio de Janeiro: **Embrapa Florestas, Embrapa Solos, Instituto Agrônômico do Paraná**, p. 74, 2008.

BUOL S. W., et al. Soil Genesis and Classification. 6. ed. Chichester: Wiley-Blackwell, 543p., 2011.

CHAGAS, C. da S. et al. Atributos topográficos na diferenciação de Argissolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 6, p. 1441–1453, 2013.

COMEC. Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba. Região Metropolitana de Curitiba. **Revista da Região Metropolitana de Curitiba**, 2017.

DHARUMARAJAN, S. et al. The need for digital soil mapping in India. **Geoderma Regional**, v. 15, 2019.

EMBRAPA. Normas e critérios para levantamentos pedológicos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Rio de Janeiro, p. 94, 1989.

FERREIRA, E. P. ET AL. Mineralogy and Concentration of Potentially Toxic Elements in Soils of the São Francisco Sedimentary Basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 2018.

FISHER, R. et al. Satellite Image Analysis and Terrain Modeling – A practical manual for natural resource management, disaster risk and development planning using free geospatial data and software. Charles Darwin University, **Universitas Nusa Cendana, Universitas Halu Oleo**, p. 72-79, 2017.

GALLANT, J. C.; DOWLING, T. I. A multiresolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas. **Water Resources Research**, v. 39, n. 12, p. 1347, 2003.

GALLANT, J.C. WILSON, J.P. Primary topographic attributes. WILSON, J.P., GALLANT, J.C. (Eds.), *Terrain Analysis: Principles and Applications*, **Wiley**, New York, p. 51-85, 2000.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle Size Analysis. In: *Methods of Soil Analysis, Part A*. Klute (ed.). **American Society of Agronomy**. Madison: Wisconsin, v.9, n. 2, p. 383-411, 1986.

GOMES, L. C. et al. Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil. **Geoderma**, v. 340, p. 337–350, 2019.

GRUNWALD, S. (Ed.), *Environmental Soil-Landscape Modeling — Geographic Information Technologies and Pedometrics*, **CRC Press**, New York, 2006.

GUO, Z. et al. Selection of terrain attributes and its scale dependency on soil organic carbon prediction. **Geoderma**, v. 340, p. 303–312, 2019.

HENGL, T. et al. Methods to interpolate soil categorical variables from profile observations: Lessons from Iran. **Geoderma**, v. 140, p. 417–427, 2007.

HUDSON, B.D. Soil genesis, morphology & classification. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 836–841, 1992.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário. Resultados preliminares, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos (Manuais Técnicos de Geociências, 1). Rio de Janeiro: **IBGE - Diretoria de Geociências**, p. 271, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de pedologia. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **IBGE**, v. 4, p. 316, 2007.

IPPOLITI, G. A. et al. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de “mar de morros” (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 269-276, 2005.

ITCG. Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná. Caracterização do meio físico para fins de planejamento urbano com a indicação de áreas de riscos geológicos – Tijucas do Sul (PR). Curitiba: **ITCG**, p. 31, 2018.

JENNY H. Factors of Soil Formation. **A System of Quantitative Pedology**. New York, McGraw-Hill. p. 281, 1941.

LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A. B. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. In: LAGACHERIE, P. et al. Digital soil mapping: an introductory perspective. **Elsevier**, Amsterdã, p. 3-22, 2007.

LIANG, W.-L.; CHAN, M.-C. Spatial and temporal variations in the effects of soil depth and topographic wetness index of bedrock topography on subsurface saturation generation in a steep natural forested headwater catchment. **Journal of Hydrology**, v. 546, p. 405– 418, 2017.

LÓCZY, D. et al. Geomorphometric floodplain classification in a hill region of Hungary. *Geomorphology*, v. 147–148, p. 61–72, 2012.

LOOG, M. Supervised classification: Quite a brief overview, chapter 5. In E. Camporeale, WING, S.; JOHNSON, J. R. (Eds.), *Machine learning techniques for space weather*. New York: **Elsevier**, 2018.

MA, Y.X. et al. Pedology and digital soil mapping (DSM). **European Journal of Soil Science**, v. 70, p. 216–235, 2019.

MAACK, R. *Geografia física do Estado do Paraná*. Curitiba, p. 350, 1968.

MATTIVI, P. et al. TWI computation: a comparison of different open source GISs Open Geospatial Data, **Software and Standards**, v. 4, n. 1, p. 1-12, 2019.

McBRATNEY A. B. et al. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. **Geoderma**, Amsterdã, v. 97, p. 293-327, 2000.

McBRATNEY, A. B. et al. On digital soil mapping. **Geoderma**, Amsterdã, v. 117, p. 3-52, 2003.

McBRATNEY, A. et al. Pedometrics timeline, **Geoderma**, v. 338, p. 568–575, 2019.

McKENZIE, N. J.; GALLANT, J. Digital soil mapping with improved environmental predictors and models of pedogenesis. P. LAGACHERIE, A.B. McBRATNEY, M. VOLTZ (Eds.). *Digital Soil Mapping: An introductory perspective*, **Elsevier**, Amsterdã, p. 327-349, 2007.

MEMARSADEGHI, N. et al. A fast implementation of the isodata clustering algorithm. **International Journal of Computational Geometry and Applications**, v. 17, p. 71–103. 2007.

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African soils. **Soil Research**, v. 4, p. 183–198, 1935.

MINASNY, B. et al. Digital mapping of peatlands – a critical review. **Earth-Science Reviews**, v. 196, 2019.

MOORE I.D. et al. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 443-452, 1993.

NGUNJIRI, M. W. et al. Predicting soil types and soil properties with limited data in the Uasin Gishu Plateau, Kenya. **Geoderma Regional**, v. 15, 2019.

NOWATZKI, A. et al. Potencialidade do Índice de Posição Topográfica no Mapeamento Pedológico Preditivo em uma Sub-Bacia do Rio Capricórnio-PR. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 34, p. 10-20, 2017.

OLIVEIRA JUNIOR, J. C. et al. Terrain attributes and spatial distribution of soil mineralogical attributes. **Geoderma**, v. 213, p. 214-25, 2014.

PEREIRA, M. G. et al. Organossolos: Ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (Org.). Tópicos Especiais em Ciência do Solo. 4. ed. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.4, p.233-276, 2005.

PRATES, V. et al. Índices para a representação da paisagem como apoio para levantamento pedológico em ambiente de geoprocessamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 408–414, 2012.

RASAEI, Z.; BOGAERT, P. Bayesian data fusion for combining maps of predicted soil classes: A case study using legacy soil profiles and DEM covariates in Iran. **Catena**, v. 182, n.104138, 2019.

RIZZO, R. et al. Multi-temporal bare surface image associated with transfer functions to support soil classification and mapping in southeastern Brazil. **Geoderma**, v. 361, 2019.

RUBIN, J. Optimal Classification into Groups: An Approach for Solving the Taxonomy Problem. **Journal of Theoretical Biology**, v. 15, n. 1, 1967.

SANTOS, H. G. D. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2006.

SANTOS, H. G. D. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: **Embrapa**, 2018.

SANTOS, H. G. et al. Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos. Brasília, **Embrapa** - SPI, p. 101, 1995.

SANTOS, L. J. C. et al. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 7, n. 2, p. 3-12, 2006.

SANTOS, R. D. et al. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6. ed. revista e ampliada. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 100, 2013.

SCHOWENGERDT, R.A. Thematic Classification. In Remote Sensing, Models and Methods for Image Processing, 3; ed. **Academic Press**: New York, NY, USA, p. 387-455, 2007.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, **Revista Bacias Hidrográficas do Paraná** – Série Histórica, Curitiba, p. 29-42, 2010.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Mapeamento da Floresta Atlântica do Estado do Paraná: cartilha de apoio à interpretação das cartas de vegetação. Curitiba: **Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos**, 2002.

SHARIFIFAR, A. et al. Mapping imbalanced soil classes using Markov chain random fields models treated with data resampling technique. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 159, p. 110-118, 2019.

SILVA NETO, E. C. da. et al. Palaeoenvironmental records of Histosol pedogenesis in upland area, Espírito Santo State (SE, Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 95, n. 102301, 2019.

SILVA, B. P. C. et al. Digital soil mapping including additional point sampling in Posses ecosystem services pilot watershed, southeastern Brazil. **Scientific Reports Nature research**, v. 9, n. 13763, 2019.

SKENTOS A.; OURANIA O. Landform analysis using terrain attributes. A Gis application on the island of Ikaria (Aegean Sea, Greece). Annals of Valahia University of Targoviste, **Geographical Series**, v. 17, n.1, p. 90-97, 2017.

TEIXEIRA, P. C. et al. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 3<sup>a</sup> ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: **Embrapa**, 573p., 2017.

VALERIANO, M. M. Topodata: Guia de utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos: **INPE**, 44p., 2008.

VALLADARES, G. S. Caracterização de Organossolos, auxílio à sua classificação. 2003. 129p. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). **Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**, Seropédica, 2003.

YANG, H. et al. Hyper-temporal remote sensing data in bare soil period and terrain attributes for digital soil mapping in the Black soil regions of China. **Catena**, v. 184, n. 104259, 2020.

ZERAATPISHEH, M. et al. Digital mapping of soil properties using multiple machine learning in a semi-arid region, central Iran. *Geoderma*, Amsterdã, v. 338, p. 445-452, 2019.



#### 4 CONCLUSÃO GERAL

Diferentes sequências de solos foram observadas nos compartimentos geomorfológicos do estudo. Para a região entre a SM e o PA, os atributos topográficos *multi-resolution valley bottom flatness index* (MrVBF), *profile curvature*, *slope*, *topographic wetness index* (TWI) e *valley depth* representaram informações básicas para produzir mapas de solos com melhor detalhe.

Quanto a classificação supervisionada e a não supervisionada de imagem, estas separaram em diferentes agrupamentos as classes de solos nas topossequências estudadas. As pequenas variações nas delimitações realizadas por estes classificadores não comprometem o mapeamento em uma escala de semidetalle.

Com os referidos atributos topográficos e o uso dos dois classificadores de imagem, as classes de solos descritas nos perfis foram separadas. Os mapas apresentando novas UM's sugerem que a delimitação das classes de solos está próxima da realidade de campo.

Valores médios de TWI < 6 e MrVBF < 0,5 foram obtidos para a classe do Organossolo Fólico em ambiente altimontano, sendo influenciado pelas baixas temperaturas que reduz a decomposição do material orgânico.

Para o Organossolo Háplico foram obtidas médias de TWI > 8 e MrVBF > 2, por ocorrer em planícies aluviais, com sua gênese relacionada aos processos de acúmulo de material orgânico, decomposição, humificação e paludização.

No comparativo com as UM's pela escala 1:250.000, perfis descritos como Nitossolos Brunos foram inseridos como Podzólicos Vermelho-Amarelos, atualmente desmembrados em Argissolos e Nitossolos. A classe dos Nitossolos ocorreu em diferentes condições topográficas, em locais com relevo suave ondulado (PC, PC/PA e PA), e forte ondulado (SM), demonstrando a importância de um nível na classificação de solos que faça referência ao relevo.

## 5 REFERÊNCIAS

- ABDEL-KADER, F. H. Digital soil mapping at pilot sites in the northwest coast of Egypt: A multinomial logistic regression approach. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**, v. 14, p. 29-40, 2011.
- ADHIKARI, K. et al. Digital mapping of soil organic carbon contents and stocks in Denmark. **PLoS ONE**, v. 9, n. e105519, 2014.
- AMIRIAN-CHAKAN, A. et al. Some practical aspects of predicting texture data in digital soil mapping. **Soil and Tillage Research**, v. 194, n.104289, 2019.
- AUMOND, J. J. Aspectos geológicos de algumas argilas para cerâmica branca da Bacia de Tijucas do Sul. **Cerâmica**, v. 39, p. 24-26. 1993.
- BENITES, V. M. Caracterização de solos e de substâncias húmicas em áreas de vegetação rupestre de altitude (Tese de Doutorado). Viçosa, **Universidade Federal de Viçosa**, 71p., 2002.
- BHERING, S. B. et al. Mapa de solos do Estado do Paraná: legenda atualizada. Rio de Janeiro: **Embrapa Florestas, Embrapa Solos, Instituto Agrônomo do Paraná**, p. 74, 2008.
- BIGARELLA, J. J. et al. Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais. Fundamentos geológico-geográficos, alteração química e física das rochas, relevo cárstico e dômico. **Editores da UFSC**, Florianópolis, p. 425, 1994.
- BIONDI J.C.; SANTOS E. R. Depósito de caulim de Tijucas do Sul (Mina Fazendinha, Tijucas do Sul – PR). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 34, p. 243-252, 2004.
- BOCKHEIM J. G. et al. Historical development of key concepts in pedology. **Geoderma**, Amsterdã, v. 124, p. 23-36, 2005.
- BOTELHO, M. R. et al. Caracterização e classificação de solos com horizontes subsuperficiais escuros derivados de rochas graníticas no Escudo sul-rio-

grandense. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 4, p. 1066-1076, 2014.

BROGI, C. Large-scale soil mapping using multi-configuration EMI and supervised image classification. *Geoderma*, Amsterdã, v. 335, p. 133-148, 2019.

BUOL S. W., et al. Soil Genesis and Classification. 6. ed. Chichester: **Wiley-Blackwell**, 543p., 2011.

CAMPOS, J. R. R. et al. Influence of the structural framework on peat bog distribution in the tropical highlands of Minas Gerais, Brazil. **Catena**, v. 156, p. 228-236, 2017.

CHAGAS, C. da S. et al. Atributos topográficos na diferenciação de Argissolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 37, n. 6, p. 1441–1453, 2013.

CHIAPINI M. et al. Formation of black carbon rich 'sombrio' horizons in the subsoil - A case study from subtropical Brazil. **Geoderma**, Amsterdã, v. 314, p. 232-244, 2018.

CIPRIANO-SILVA, R. et al. Caracterização de Organossolos em ambientes de várzea do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n.1, p. 26-38, 2014.

COMEC. Coordenação da Região Metropolitana de Curitiba. Região Metropolitana de Curitiba. **Revista da Região Metropolitana de Curitiba**, 2017.

COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B Nítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p.581-595, 2005.

COSTA, E. U. C. et al. Genesis and Classification of Nitisols from Volcano-Sedimentary Lithology in Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]**, Viçosa, v. 43, 2019.

CRUMP, J. (Ed.) Smoke on Water – Countering Global Threats From Peatland Loss and Degradation. A UNEP Rapid Response Assessment. **United Nations Environment Programme and GRID-Arendal**, Nairobi and Arendal. 2017.

DE WISPELAERE, L. et al. Revisiting nitic horizon properties of Nitisols in SW Ethiopia. **Geoderma**, Amsterdã, v. 243–244, p. 69-79, 2015.

DHARUMARAJAN, S. et al. The need for digital soil mapping in India. **Geoderma Regional**, v. 15, 2019.

EMBRAPA. Normas e critérios para levantamentos pedológicos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**. Rio de Janeiro, p. 94, 1989.

EVERETT, K. R. Histosols. In: Pedogenesis and Soil Taxonomy II. The Soil Orders Wilding, L.P.; Smeck, N. E.; Hall, G.F. (Eds.), **Elsevier**, Amsterdã, p. 1-53, 1983.

FARPOOR, M. H. et al. Soil-geomorphology relationships in Sirjan playa, south central Iran. **Geomorphology**, v. 138, p. 223-230, 2012.

FERREIRA, E. P. ET AL. Mineralogy and Concentration of Potentially Toxic Elements in Soils of the São Francisco Sedimentary Basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 2018.

FERREIRA, J. C. V. O Paraná e seus municípios. 2 ed. Memórias do Brasil, Cuiabá, 1999.

FISHER, R. et al. Satellite Image Analysis and Terrain Modeling – A practical manual for natural resource management, disaster risk and development planning using free geospatial data and software. Charles Darwin University, **Universitas Nusa Cendana, Universitas Halu Oleo**, p. 72-79, 2017.

GALLANT, J. C.; DOWLING, T. I. A multiresolution index of valley bottom flatness for mapping depositional areas. **Water Resources Research**, v. 39, n. 12, p. 1347, 2003.

GALLANT, J.C. WILSON, J.P. Primary topographic attributes. WILSON, J.P., GALLANT, J.C. (Eds.), *Terrain Analysis: Principles and Applications*, **Wiley**, New York, p. 51-85, 2000.

GEE, G. W.; BAUDER, J. W. Particle Size Analysis. In: *Methods of Soil Analysis*, Part A. Klute (ed.). **American Society of Agronomy**. Madison: Wisconsin, v.9, n. 2, p. 383-411, 1986.

GOMES, L. C. et al. Modelling and mapping soil organic carbon stocks in Brazil. **Geoderma**, v. 340, p. 337–350, 2019.

GRUNWALD, S. (Ed.), *Environmental Soil-Landscape Modeling — Geographic Information Technologies and Pedometrics*, **CRC Press**, New York, 2006.

Grupo Gestor de Revitalização do Rio Iguaçu (GGRI). Rio Iguaçu: o maior rio do Paraná. Curitiba, 2019. Disponível em: <<http://www.rioiuguacu.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=4>>. Acesso em: nov. 2019.

GUO, Z. et al. Selection of terrain attributes and its scale dependency on soil organic carbon prediction. **Geoderma**, v. 340, p. 303–312, 2019.

HARTEMINK, A.E.; McBRATNEY, A.B. A soil science renaissance. *Geoderma*, Amsterdã, v. 148, p. 123-129, 2008.

HENGL, T. et al. Methods to interpolate soil categorical variables from profile observations: Lessons from Iran. **Geoderma**, v. 140, p. 417–427, 2007.

HOOGLAND T. et al. Modeling the subsidence of peat soils in the Dutch coastal area. **Geoderma**, Amsterdã, v. 171–172: p. 92–97, 2012.

HUDSON, B.D. Soil genesis, morphology & classification. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56, p. 836–841, 1992.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário. Resultados preliminares, 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais

e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos (Manuais Técnicos de Geociências, 1). Rio de Janeiro: **IBGE - Diretoria de Geociências**, p. 271, 2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de pedologia. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. **IBGE**, v. 4, p. 316, 2007.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico da vegetação brasileira: sistema fitogeográfico, inventário das formações florestais e campestres, técnicas e manejo de coleções botânicas, procedimentos para mapeamentos (Manuais Técnicos de Geociências, 1). Rio de Janeiro: **IBGE - Diretoria de Geociências**, p. 271, 2012.

IPPOLITI, G. A. et al. Análise digital do terreno: ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de “mar de morros” (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, p. 269-276, 2005.

ITCG. Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná. Caracterização do meio físico para fins de planejamento urbano com a indicação de áreas de riscos geológicos – Tijucas do Sul (PR). Curitiba: **ITCG**, p. 31, 2018.

JENNY H. Factors of Soil Formation. **A System of Quantitative Pedology**. New York, McGraw-Hill. p. 281, 1941.

JORDANOVA, N. The magnetism of soils with little or no profile differentiation: Soils from mountain areas (Cambisols, Umbrisols) and floodplains (Fluvisols). **Soil Magnetism: Applications in Pedology, Environmental Science and Agriculture**, p. 287-330, 2017.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In: KER, J. C.; CURI, N.; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. (Eds.). Pedologia: Fundamentos. Viçosa, MG: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 207-302, 2012.

KEMNITZ, H.; LUCKE, B. Quartz grain surfaces – A potential microarchive for sedimentation processes and parent material identification in soils of Jordan. **Catena**, v. 176, p. 209–226, 2019.

KHRESAT, S. A. Formation and properties of Inceptisols (Cambisols) of major agricultural rainfed areas in Jordan. **Achieves of Agronomy and Soil Science**, v. 51, n. 1, p. 15–23, 2011.

KLAMT, E.; VAN REEUWIJK, L. P. Evaluation of morphological, physical and chemical characteristics of Ferralsols and related soils. **Revista Brasileira de Ciência do Solo [online]**, v. 24, n. 3, p.573-587, 2000.

KÖPPEN, W. Climatologia. México: Fundo de Cultura Econômica, 1931.

LAGACHERIE, P.; MCBRATNEY, A. B. Spatial soil information systems and spatial soil inference systems: perspectives for digital soil mapping. In: LAGACHERIE, P. et al. Digital soil mapping: an introductory perspective. **Elsevier**, Amsterdã, p. 3-22, 2007.

LEÃO, T. P. Particle size distribution of Oxisols in Brazil. **Geoderma Regional**, v. 7, p. 216-222, 2016.

LIANG, W.-L.; CHAN, M.-C. Spatial and temporal variations in the effects of soil depth and topographic wetness index of bedrock topography on subsurface saturation generation in a steep natural forested headwater catchment. **Journal of Hydrology**, v. 546, p. 405– 418, 2017.

LÓCZY, D. et al. Geomorphometric floodplain classification in a hill region of Hungary. **Geomorphology**, v. 147–148, p. 61–72, 2012.

LOISEL, J. et al. A database and synthesis of northern peatland soil properties and Holocene carbon and nitrogen accumulation. **Holocene**, v. 24, p. 1028-1042, 2014.

LOOG, M. Supervised classification: Quite a brief overview, chapter 5. In E. Camporeale, WING, S.; JOHNSON, J. R. (Eds.), Machine learning techniques for space weather. New York: **Elsevier**, 2018.



LUMBRERAS, J. F. et al. Guia de campo da XII Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Rondônia. Brasília, DF: **Embrapa**, 2019.

MA, Y.X. et al. Pedology and digital soil mapping (DSM). **European Journal of Soil Science**, v. 70, p. 216–235, 2019.

MAACK, R. Breves notícias sobre a geologia dos estados do Paraná e Santa Catarina. **Brazilian Archives of Biology and Technology**: an international journal. Edição especial volume Jubilee, Curitiba, p.169-288, 2001.

MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. Curitiba, p. 350, 1968.

MATTIVI, P. et al. TWI computation: a comparison of different open source GISs Open Geospatial Data, **Software and Standards**, v. 4, n. 1, p. 1-12, 2019.

McBRATNEY A. B. et al. An overview of pedometric techniques for use in soil survey. **Geoderma**, Amsterdã, v. 97, p. 293-327, 2000.

McBRATNEY, A. B. et al. On digital soil mapping. **Geoderma**, Amsterdã, v. 117, p. 3-52, 2003.

McBRATNEY, A. et al. Pedometrics timeline, **Geoderma**, v. 338, p. 568–575, 2019.

McKENZIE, N. J.; GALLANT, J. Digital soil mapping with improved environmental predictors and models of pedogenesis. P. LAGACHERIE, A.B. MCBRATNEY, M. VOLTZ (Eds.). Digital Soil Mapping: An introductory perspective, **Elsevier**, Amsterdã, p. 327-349, 2007.

MEMARSADEGHI, N. et al. A fast implementation of the isodata clustering algorithm. **International Journal of Computational Geometry and Applications**, v. 17, p. 71–103. 2007.

MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping, particularly for East African soils. **Soil research**, v. 4, p. 183–198, 1935.

MINASNY, B. et al. Digital mapping of peatlands – a critical review. **Earth-Science Reviews**, v. 196, 2019.

MINEROPAR (Minerais do Paraná AS) – Serviço Geológico do Paraná: Atlas comentado da geologia e dos recursos minerais do estado do Paraná, p. 125, 2001.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. Caderno da Região Hidrográfica do Paraná, Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos. – Brasília: **MMA**, p. 240, 2006.

MOORE I.D. et al. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v. 57, p. 443-452, 1993.

MOREIRA, L. F. et al. Tijucas do Sul sedimentary basin stratigraphy. São Paulo: **UNESP**, Geociências, v. 38, n. 2, p. 467-481, 2019.

NGUNJIRI, M. W. et al. Predicting soil types and soil properties with limited data in the Uasin Gishu Plateau, Kenya. **Geoderma Regional**, v. 15, 2019.

NOWATZKI, A. et al. Potencialidade do Índice de Posição Topográfica no Mapeamento Pedológico Preditivo em uma Sub-Bacia do Rio Capricórnio-PR. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 34, p. 10-20, 2017.

OLIVEIRA JUNIOR, J. C. et al. Terrain attributes and spatial distribution of soil mineralogical attributes. **Geoderma**, v. 213, p. 214-25, 2014.

OSAT, M. et al. Impacts of topographic attributes on Soil Taxonomic Classes and weathering indices in a hilly landscape in Northern Iran. **Geoderma**, Amsterdã, v. 281, p. 90-101, 2016.

PAUL, E. A.; CLARK, F. E. Soil microbiology and biochemistry. 2.ed. New York, **Academic Press**, 340p., 1996.

PEDRON, F. de A. et al. Morfologia e classificação taxonômica de Neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral no Rio Grande no Sul. Viçosa: **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 119-128, 2009.

PEREIRA, M. G. et al. Organossolos: Ocorrência, gênese, classificação, alterações pelo uso agrícola e manejo. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (Org.). Tópicos Especiais em Ciência do Solo. 4. ed. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 4, p. 233-276, 2005.

PEREZ, D. V. et al. Comparison of H/Al stoichiometry of mineral and organic soils in Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1071-1076, 2009.

PRATES, V. et al. Índices para a representação da paisagem como apoio para levantamento pedológico em ambiente de geoprocessamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, p. 408–414, 2012.

QUEIROZ NETO, J. P. O papel da pedogênese no modelado do relevo: busca de novos paradigmas. Coimbra, 2010.

RASAEI, Z.; BOGAERT, P. Bayesian data fusion for combining maps of predicted soil classes: A case study using legacy soil profiles and DEM covariates in Iran. **Catena**, v. 182, n.104138, 2019.

RIZZO, R. et al. Multi-temporal bare surface image associated with transfer functions to support soil classification and mapping in southeastern Brazil. **Geoderma**, v. 361, 2019.

ROCHA, S. S. Tijucas do Sul: aspectos gerais da formação, criação e evolução do município. **Editora Oni Gráfica e Editora Ltda**. Campo Largo, 2005.

ROSOLEN, V. et al. On the link between soil hydromorphy and geomorphological development in the Cerrado (Brazil) wetlands. **Catena**, v. 176, p. 197-208, 2019.

RUBIN, J. Optimal Classification into Groups: An Approach for Solving the Taxonomy Problem. **Journal of Theoretical Biology**, v. 15, n. 1, 1967.

SANTOS, H. G. D. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de janeiro: **Embrapa Solos**, 2006.

SANTOS, H. G. D. et al. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: **Embrapa**, 2018.

SANTOS, H. G. et al. Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos. Brasília, **Embrapa** - SPI, p. 101, 1995.

SANTOS, L. J. C. et al. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano 7, n. 2, p. 3-12, 2006.

SANTOS, R. D. et al. Manual de descrição e coleta de solo no campo. 6. ed. revista e ampliada. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 100, 2013.

SCHOWENGERDT, R.A. Thematic Classification. In Remote Sensing, Models and Methods for Image Processing, 3; ed. **Academic Press**: New York, NY, USA, p. 387-455, 2007.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos, **Revista Bacias Hidrográficas do Paraná** – Série Histórica, Curitiba, p. 29-42, 2010.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Mapeamento da Floresta Atlântica do Estado do Paraná: cartilha de apoio à interpretação das cartas de vegetação. Curitiba: **Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos**, 2002.

SEMA. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Plano de manejo da área de proteção ambiental de Guaratuba. **SEMA/ Instituto Ambiental do Paraná/Programa Proteção da Mata Atlântica – Pró-Atlântica**, Paraná, 2006.

SHARIFIFAR, A. et al. Mapping imbalanced soil classes using Markov chain random fields models treated with data resampling technique. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 159, p. 110-118, 2019.

SILVA NETO, E. C. da. et al. Palaeoenvironmental records of Histosol pedogenesis in upland area, Espírito Santo State (SE, Brazil). **Journal of South American Earth Sciences**, v. 95, n. 102301, 2019.

SILVA, B. P. C. et al. Digital soil mapping including additional point sampling in Posses ecosystem services pilot watershed, southeastern Brazil. **Scientific Reports Nature research**, v. 9, n. 13763, 2019.

SIMONSON, R. W. Outline of a generalized theory of soil genesis. **Soil Science Society of America, Proceedings**, v. 23, p. 152-156, 1959.

SKENTOS A.; OURANIA O. Landform analysis using terrain attributes. A Gis application on the island of Ikaria (Aegean Sea, Greece). Annals of Valahia University of Targoviste, **Geographical Series**, v. 17, n.1, p. 90-97, 2017.

SOUZA-BASTOS, L. R. et al. Evaluation of the water quality of the upper reaches of the main Southern Brazil river (Iguaçu river) through in situ exposure of the native siluriform *Rhamdia quelen* in cages. **Environmental Pollution**, v. 231, p. 1245-1255, 2017.

STANEK, W.; SILC, T. Comparisons of four methods for determination of degree of peat humification (decomposition) with emphasis on the von Post method. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 57, p. 109-117, 1977.

TEIXEIRA, P. C. et al. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro, 3ª ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: **Embrapa**, 573p., 2017.

VALERIANO, M. M. Topodata: Guia de utilização de dados geomorfométricos locais. São José dos Campos: **INPE**, 44p., 2008.

VALLADARES, G. S. Caracterização de Organossolos, auxílio à sua classificação. 2003. 129p. Tese (Doutorado em Agronomia - Ciência do Solo). **Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro**, Seropédica, 2003.

VALLADARES, G.S. et al. Caracterização de solos brasileiros com elevados teores de material orgânico. **Magistra**, v. 20, n. 1, p. 95-104, 2008.

VASQUES, G. M. et al. Terra Soil classification using Visible–near infrared diffuse reflectance spectra from multiple depths. **Geoderma**, Amsterdã, v. 223–225, p. 73-78, 2014.

VIDAL-TORRADO, P. Essa tal cerosidade. **Boletim Informativo Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p. 13-15, 2001.

VIDAL-TORRADO, P. et al. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. In: Vidal-Torrado, P.; Alleoni, L. R. F.; Cooper, M.; Silva, A. P.; Cardoso, E. J.; Prochnow, L. I. (Org.). Tópicos em Ciência do Solo. Viçosa: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.4, p.145-192, 2005.

WEBSTER R. The development of pedometrics. **Geoderma**, Amsterdã, v. 62, p. 1–15, 1994.

YANG, H. et al. Hyper-temporal remote sensing data in bare soil period and terrain attributes for digital soil mapping in the Black soil regions of China. **Catena**, v. 184, n. 104259, 2020.

ZERAATPISHEH, M. et al. Digital mapping of soil properties using multiple machine learning in a semi-arid region, central Iran. **Geoderma**, Amsterdã, v. 338, p. 445-452, 2019.

ŽIVOTIĆA L. B. et al. Classification and spatial distribution of soils in the foot and toe slopes of mountain Vukan, East-Central Serbia. **Catena**, v. 159, p. 70–83, 2017.

## APÊNDICE 1 – DESCRIÇÕES MORFOLÓGICAS

### PERFIL SM-1

#### DESCRIÇÃO GERAL:

DATA: 27 de julho de 2018.

CLASSIFICAÇÃO: ORGANOSSOLO FÓLICO Sáprico lítico, textura argila, floresta subtropical perenifólia altomontana, relevo forte ondulado (SiBCS; Embrapa, 2018).

Unidade de mapeamento: AR2.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Fazenda das águas JM, município de Tijucas do Sul, Paraná. Coordenadas aproximadas: 25°45'43,38"S e 49°6'6,24"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Tradagem em área com afloramentos rochosos no topo da vertente com declividade de aproximadamente 33%, e Floresta Subtropical Perenifólia.

ALTITUDE: 1.192 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLÓGICA: Egi - Formação Guaratubinha; Sequência vulcânica intermediária: andesitos e dacitos. Paleozóico/Cambriano.

MATERIAL DE ORIGEM: Resíduos orgânicos em decomposição.

PEDREGOSIDADE: Pedregosa.

ROCHOSIDADE: Muito rochosa.

RELEVO LOCAL: Forte ondulado.

RELEVO REGIONAL: Forte ondulado.

EROSÃO: Ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

USO ATUAL: Mata.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

O 0-40 cm [com afloramentos rochosos]; cinzento muito escuro (7.5 YR 3/1, úmida); argila.

#### Perfil SM-1. Análise granulométrica e química.

Perfil	Hz	Prof.	Espes.	Argila	Silte	Areia Total	Silte/Argila	CTC argila	pH		$\Delta$ pH
		(m)			(g kg <sup>-1</sup> )			(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> O	KCl	
SM-1	O	0-0,40	0,40	439,0	399,1	161,9	0,9	87,0	4,3	3,7	-0,6

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor S	CTC efetiva	Valor T	Valor V	Valor m	PST	C	N	C/N
(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )									(%)					
0,3	0,1	0,4	0,6	5,7	36,8	1,4	7,1	38,2	3,7	80,2	0,2	12,0	0,8	14,3





### PERFIL SM-3

#### DESCRIÇÃO GERAL:

DATA: 27 de julho de 2018.

CLASSIFICAÇÃO: NITOSSOLO HÁPLICO Distrófico típico, A moderado, textura argilosa a muito argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, relevo ondulado a forte ondulado (SiBCS; Embrapa, 2018).

UNIDADE DE MAPEAMENTO: AR2.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Fazenda das águas JM, município de Tijucas do Sul, Paraná. Coordenadas aproximadas: 25°45'29,88"S e 49° 6'20,69"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Terço médio da encosta, com declividade aproximada de 20%, sob fase de campo.

ALTITUDE: 1.015 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLÓGICA: Egs - Formação Guaratubinha; Sequência sedimentar: arcossios, siltitos, argilitos e conglomerados. Paleozóico/Cambriano.

MATERIAL DE ORIGEM: Resultante da decomposição de rochas ígneas ácidas e metamórficas.

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Forte ondulado.

EROSÃO: Ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

USO ATUAL: Campo.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

A 0-15 cm; bruno (7.5 YR 4/4, úmida); argila; moderada média granular; macia; muito friável; ligeiramente plástica; ligeiramente pedregosa; transição plana e gradual.

B 15-120 cm+; bruno-forte (7.5 YR 5/6, úmida); muito argilosa; forte média a grande/muito grande blocos subangulares; cerosidade moderada e comum; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa.

#### Perfil SM-3. Análise granulométrica e química.

Perfil	Hz	Prof.	Espes.	Argila	Silte	Areia Total	Silte/Argila	CTC argila	pH		ΔpH
		(cm)	(cm)					(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> O	KCl	
SM-3	A	0-15	15	570,3	228,1	201,6	0,4	29,0	5,4	4,4	-1,0
	B	-120+	85	693,4	176,7	129,9	0,3	15,3	5,0	4,0	-1,0

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor S	CTC efetiva	Valor T	Valor V	Valor m	PST	C	N	C/N
(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )								(%)						
0,3	0,1	4,1	3,0	0,1	9,0	7,5	7,6	16,5	45,2	1,3	0,3	4,3	0,3	12,9
0,2	0,0	1,3	1,2	1,2	7,9	2,8	4,0	10,6	26,1	30,2	0,4	1,7	0,2	9,4

## PERFIL SM-4

### DESCRIÇÃO GERAL:

DATA: 27 de julho de 2018.

CLASSIFICAÇÃO: NITOSSOLO HÁPLICO Eutrófico típico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, relevo forte ondulado (SiBCS; Embrapa, 2018).

UNIDADE DE MAPEAMENTO: LBd3.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Fazenda das águas JM, município de Tijucas do Sul, Paraná. Coordenadas aproximadas: 25°45'20.48"S e 49° 6'39.93"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Barranco no sopé da encosta, com declividade de aproximadamente 24%; sob campo/pastagem.

ALTITUDE: 960 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLÓGICA: APImgm - Complexo Gnáissico Migmatítico; Migmatitos oftálmicos, com paleosoma de biotita gnaiss, biotita-hornblenda gnaiss e hornblenda gnaiss, localmente com quartzitos. Arqueano-Proterozóico Inferior.

MATERIAL DE ORIGEM: Resultante da decomposição de rochas ígneas ácidas e metamórficas.

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Forte ondulado.

EROSÃO: Ligeira ou não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

USO ATUAL: Pastagem.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

A 0-50 cm; bruno avermelhado (5 YR 5/4, úmida); muito argiloso; forte grande/muito grande blocos subangulares; muito dura; muito firme; plástica; pegajosa; transição ondulada e clara.

B 50-100 cm; bruno avermelhado (5 YR 4/4, úmida); muito argiloso; forte grande/muito grande blocos angulares; cerosidade moderada e comum; dura; firme; muito plástica; muito pegajosa, transição plana e clara.

Ab 100-125 cm; vermelho-amarelado (5 YR 5/6, úmida); muito argiloso; moderada média blocos subangulares; dura; firme; plástica; pegajosa; transição ondulada e gradual.

Bb 125-150 cm; vermelho-amarelado (5 YR 4/6, úmida); muito argiloso; moderada média a grande/muito grande blocos subangulares; dura; firme; plástica; pegajosa; transição plana e gradual.

C 150-170 cm+; vermelho-amarelado (5 YR 5/8, úmida); muito argiloso.

Observações: Descrição foi realizada com solo úmido.

**Perfil SM-4. Análise granulométrica e química.**

Perfil	Hz	Prof.	Espes.	Argila	Silte	Areia Total	Silte/Argila	CTC argila	pH		ΔpH
		(cm)		(g kg <sup>-1</sup> )				(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> O	KCl	
SM-4	A	0-50	50	681,2	173,6	145,2	0,25	17,57	6,55	5,70	-0,85
	B	-100	50	723,0	137,1	139,9	0,19	12,98	5,63	5,05	-0,58
	Ab	-125	25	750,2	116,4	133,4	0,16	15,49	4,88	4,00	-0,88
	Bb	-150	25	729,2	150,9	120,0	0,21	14,15	4,81	4,02	-0,79
	C	-170+	20	665,9	179,3	154,8	0,27	12,56	4,92	4,17	-0,75

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor S	CTC efetiva	Valor T	Valor V	Valor m	PST	C	N	C/N
(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )								(%)						
0,2	0,1	5,8	3,4	0,0	2,5	9,5	9,5	12,0	79,3	0,0	0,5	2,6	0,2	11,5
0,2	0,1	2,5	2,6	0,1	4,0	5,3	5,4	9,4	56,9	1,5	0,5	1,3	0,1	9,8
0,1	0,0	1,3	1,8	1,0	8,3	3,3	4,3	11,6	28,5	22,5	0,4	1,4	0,1	14,1
0,1	0,0	1,3	1,2	1,0	7,7	2,6	3,6	10,3	25,5	26,3	0,4	1,2	0,1	14,0
0,1	0,0	1,2	1,2	0,6	5,8	2,6	3,1	8,4	30,6	18,0	0,5	0,9	0,1	13,4

**PERFIL PC-1**

**DESCRIÇÃO GERAL:**

DATA: 24 de julho de 2018.

CLASSIFICAÇÃO: NITOSSOLO BRUNO Distrófico húmico, A húmico, textura muito argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado (SiBCS; Embrapa, 2018).

UNIDADE DE MAPEAMENTO: LBd3.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Estrada de acesso ao haras Fazenda das águas JM, município de Tijucas do Sul, Paraná. Coordenadas: 25°45'38.40"S e 49°7'12.96"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Barranco na estrada de acesso ao haras Fazenda das águas JM, com declividade de aproximadamente 4%, e floresta subtropical perenifólia.

ALTITUDE: 964 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLÓGICA: APIimgm - Complexo Gnáissico Migmatítico; Migmatitos oftálmicos, com paleosoma de biotita gnaiss, biotita-hornblenda gnaiss e hornblenda gnaiss, localmente com quartizitos. Arqueano-Proterozóico Inferior.

MATERIAL DE ORIGEM: Resultante da decomposição de rochas ígneas ácidas e metamórficas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

USO ATUAL: Mata.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

A1 0-35 cm; bruno-escuro (7.5 YR 3/2, úmida); muito argilosa; moderada grande/muito grande blocos subangulares; ligeiramente dura; firme; plástica; ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

A2 35-70 cm; preto (7.5 YR 2.5/1, úmida); muito argilosa; moderada média a grande/muito grande blocos subangulares; ligeiramente dura; firme; plástica; ligeiramente pegajosa; transição ondulada e difusa.

B1 70-115 cm; bruno (7.5 YR 5/4, úmida); muito argilosa; forte grande/muito grande blocos angulares; cerosidade forte e abundante; ligeiramente dura; firme; ligeiramente plástica; pegajosa; transição ondulada e gradual.

B2 115-160 cm; bruno-forte (7.5 YR 4/6, úmida); muito argilosa; forte grande/muito grande blocos subangulares; cerosidade forte e abundante; ligeiramente dura; firme; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual.

BC 160-200 cm +; bruno-forte (7.5 YR 5/6, úmida); muito argilosa; moderada média blocos subangulares; cerosidade forte e abundante; ligeiramente dura; friável; plástica; pegajosa; transição plana e difusa.

Observações: Descrição realizada com solo úmido.

#### Perfil PC-1. Análise granulométrica e química.

Perfil	Hz	Prof.	Espes.	Argila	Silte	Areia Total	Silte/Argila	CTC argila	pH		ΔpH
		(cm)		(g kg <sup>-1</sup> )				(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> O	KCl	
PC-1	A1	0-35	35	690,5	90,1	219,4	0,1	32,3	4,6	3,8	-0,8
	A2	-70	35	679,0	73,8	247,3	0,1	32,6	4,7	3,8	-0,9
	B1	-115	45	729,2	27,0	243,8	0,0	10,1	4,7	3,9	-0,8
	B2	-160	45	739,1	51,0	209,9	0,1	7,3	5,6	4,4	-1,5
	BC	-200+	40	764,1	54,6	181,3	0,1	8,6	4,9	4,2	-0,8

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor S	CTC efetiva	Valor T	Valor V	Valor m	PST	C	N	C/N
(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )								(%)						
0,1	0,1	0,3	0,4	4,6	21,4	0,9	5,5	22,3	4,2	83,0	0,4	5,2	0,4	14,8
0,1	0,1	0,1	0,2	3,8	21,3	0,5	4,3	21,8	2,1	89,4	0,4	3,8	0,2	20,4
0,1	0,1	0,1	0,2	2,1	6,9	0,5	2,6	7,4	6,3	81,9	0,7	1,3	0,1	15,1
0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	5,0	0,3	0,5	5,4	6,3	36,0	0,8	0,7	0,1	11,6
0,1	0,1	0,5	0,2	0,4	5,7	0,8	1,2	6,6	12,7	31,2	0,8	0,8	0,1	12,9

#### PERFIL PC-2

#### DESCRIÇÃO GERAL:

DATA: 24 de julho de 2018.

CLASSIFICAÇÃO: NITOSSOLO BRUNO Distrófico húmico, A húmico, textura muito argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, relevo plano a suave ondulado (SiBCS; Embrapa, 2018).

Unidade de mapeamento: LBd3.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Estrada de acesso ao haras Fazenda das águas JM, município de Tijucas do Sul, Paraná. Coordenadas aproximadas: 25°45'35.91"S e 49°7'2.96"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Barranco na estrada de acesso ao haras Fazenda das águas JM, declividade de aproximadamente 3%, floresta subtropical perenifólia.

ALTITUDE: 940 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLÓGICA: APIimgm - Complexo Gnáissico Migmatítico; Migmatitos oftálmicos, com paleosoma de biotita gnaiss, biotita-hornblenda gnaiss e hornblenda gnaiss, localmente com quartizitos; Arqueano-Proterozóico Inferior.

MATERIAL DE ORIGEM: Resultante da decomposição de rochas ígneas ácidas e metamórficas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

USO ATUAL: Mata.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

A1 0-70 cm; bruno muito escuro (7.5 YR 2.5/2, úmida); muito argiloso; moderada grande/muito grande blocos subangulares; ligeiramente dura; firme; plástica; ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

A2 70-120 cm; preto (7.5 YR 2.5/1, úmida); muito argilosa; moderada média a grande/muito grande blocos subangulares; ligeiramente dura; firme; plástica; ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

B1 120-185 cm; bruno-forte (7.5 YR 5/8, úmida); muito argilosa; forte grande/muito grande blocos angulares; cerosidade forte e abundante; ligeiramente dura; firme; ligeiramente plástica; pegajosa; transição ondulada e gradual.

B2 185-220 cm; vermelho-amarelado (5 YR 5/8, úmida); muito argilosa; forte grande/muito grande blocos subangulares; cerosidade forte e abundante; ligeiramente dura; firme; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa; transição ondulada e gradual.

BC 220-240 cm+; vermelho-amarelado (5 YR 5/8 [quartzo], úmida); muito argilosa; moderada média blocos subangulares; cerosidade forte e abundante; ligeiramente dura; friável; plástica; pegajosa; transição plana e difusa.

Observações: Descrição realizada com solo úmido.

### Perfil PC-2. Análise granulométrica e química.

Perfil	Hz	Prof.	Espes.	Argila	Silte	Areia Total	Silte/Argila	CTC argila	pH		ΔpH
		(cm)		(g kg <sup>-1</sup> )				(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> O	KCl	
PC-2	A1	0-70	70	698,4	87,3	214,3	0,1	33,0	4,6	3,8	-0,8
	A2	-120	50	681,6	85,2	233,2	0,1	30,0	4,7	3,9	-0,8
	B1	-185	65	740,2	52,9	206,9	0,1	9,4	4,5	4,0	-0,4
	B2	-220	35	748,6	51,6	199,8	0,1	7,5	5,0	4,3	-0,7
	BC	-240+	20	761,7	52,5	185,8	0,1	6,0	5,1	4,4	-0,7

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor S	CTC efetiva	Valor T	Valor V	Valor m	PST	C	N	C/N
(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )								(%)						
0,1	0,1	-0,1	0,2	4,2	22,7	0,3	4,5	23,0	1,3	93,4	0,2	4,7	0,3	15,3
0,1	0,1	0,1	0,2	3,9	20,0	0,4	4,3	20,4	2,0	90,7	0,2	5,2	0,2	21,5
0,1	0,0	0,0	0,2	1,5	6,6	0,3	1,9	6,9	4,6	82,9	0,5	1,2	0,1	16,5
0,1	0,0	0,0	0,0	0,4	5,5	0,1	0,5	5,6	1,5	82,0	0,6	0,8	0,1	14,5
0,1	0,0	0,1	0,2	0,2	4,2	0,4	0,6	4,6	8,8	37,5	0,8	0,6	0,1	12,5

### PERFIL PC-3

#### DESCRIÇÃO GERAL:

DATA: 16 de agosto de 2019.

CLASSIFICAÇÃO: GLEISSOLO MELÂNICO Ta Alumínico húmico, textura argilosa a muito argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado (SiBCS; Embrapa, 2018).

UNIDADE DE MAPEAMENTO: LBd3.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Estrada de acesso ao haras Fazenda das águas JM, município de Tijucas do Sul, Paraná. Coordenadas aproximadas: 25°45'34.43"S e 49° 6'59.82"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Barranco na estrada de acesso ao haras Fazenda das águas JM, com declividade de aproximadamente 6%, sob floresta subtropical perenifólia.

ALTITUDE: 939 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLÓGICA: APIimgm - Complexo Gnáissico Migmatítico; Migmatitos oftálmicos, com paleosoma de biotita gnaiss, biotita-hornblenda gnaiss e hornblenda gnaiss, localmente com quartizitos; Arqueano-Proterozóico Inferior.

MATERIAL DE ORIGEM: Resultante da decomposição de rochas ígneas ácidas e metamórficas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Imperfeitamente drenado.

USO ATUAL: Mata.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:



A1 0-35 cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmida); muito argiloso; moderada grande/muito grande blocos subangulares; macia; friável; plástica; pegajosa; transição plana e gradual.

A2 35-65 cm; bruno-amarelado-escuro (10YR 3/4); argila; forte média a grande/muito grande blocos subangulares; macia; friável; plástica; pegajosa; transição plana e clara.

A3 65-105 cm; bruno muito escuro (10YR 2/2, úmida); argila; forte média a grande/muito grande blocos subangulares; macia; friável; plástica; pegajosa; transição plana e gradual.

AC 105-130 cm; bruno-acinzentado muito escuro [mosqueado cinzento claro] (10YR 3/2 [mosqueado 10YR 7/1], úmida); argila; forte grande/muito grande blocos angulares e subangulares; ligeiramente dura; firme; muito plástica; muito pegajosa; transição ondulada e gradual.

Cgr 130-170 cm+; bruno muito claro-acinzentado [mosqueado bruno-forte] (10YR 8/2 [mosqueado 7,5YR 5/8], úmida); franco argiloso; forte grande/muito grande blocos subangulares; ligeiramente dura; friável; muito plástica; muito pegajosa.

Observação: Descrição realizada com solo úmido.

#### Perfil PC-3. Análise granulométrica e química.

Perfil	Hz	Prof.	Espes.	Argila	Silte	Areia Total	Silte/Argila	CTC argila (cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	pH		ΔpH
		(cm)	(cm)						H <sub>2</sub> O	KCl	
PC-3	A1	0-35	35	697,2	164,0	138,8	0,2	29,7	3,8	3,4	-0,5
	A2	-65	30	496,1	192,9	311,0	0,4	41,3	4,2	3,6	-0,6
	A3	-105	40	504,8	186,0	309,2	0,4	39,4	4,2	3,6	-0,6
	AC	-130	25	492,2	155,4	352,3	0,3	31,3	4,2	3,5	-0,7
	Cgr	-170+	40	317,2	317,2	365,5	1,0	47,7	4,2	3,4	-0,8

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor S	CTC efetiva	Valor T	Valor V	Valor m	PST	C	N	C/N
(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )								(%)						
0,2	0,2	0,7	0,3	5,1	19,4	1,4	6,5	20,7	6,6	79,0	0,9	4,0	0,3	15,2
0,1	0,3	0,7	0,3	4,4	19,2	1,3	5,7	20,5	6,5	76,6	1,4	3,4	0,2	15,9
0,1	0,2	0,6	0,2	4,7	18,9	1,0	5,7	19,9	5,2	81,9	1,1	2,9	0,1	20,4
0,0	0,2	0,6	0,2	5,8	14,5	1,0	6,8	15,4	6,2	85,8	1,2	1,7	0,1	16,6
0,1	0,2	0,6	0,2	8,4	14,1	1,1	9,4	15,1	7,7	88,7	1,5	0,4	0,0	1,0

#### PERFIL PC/PA-1

#### DESCRIÇÃO GERAL:

DATA: 26 de julho de 2018.

CLASSIFICAÇÃO: NITOSSOLO BRUNO Distrófico húmico, A húmico, textura argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado (SiBCS; Embrapa, 2018).

UNIDADE DE MAPEAMENTO: OY3.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Barranco descrito na beira da PR-281, município de Tijucas do Sul, Paraná. Coordenadas aproximadas: 25°49'45,70"S e 49°7'40,98"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Barranco em estrada, com declividade de 6%; sob mata.

ALTITUDE: 914 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLÓGICA: Qha - Sedimentos Recentes; Sedimentos de deposição fluvial (aluviões), com areias, siltes, argilas e cascalhos, depositados em canais, barras e planícies de inundação. Aluviões indiferenciados (areias, argilas e cascalhos). Quaternário/Holoceno.

MATERIAL DE ORIGEM: Sedimentos do Quaternário.

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado a ondulado.

EROSÃO: Ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

USO ATUAL: Mata.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

A1 0-30 cm; bruno-escuro (10 YR 3/3, úmida); argila; forte média granular; macia; muito friável; não plástica; não pegajosa; transição plana e gradual.

A2 30-70 cm; bruno (10 YR 4/3, úmida); argila; forte média granular; macia; muito friável; não plástica; ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

B 70-120 cm+; vermelho-amarelado (5 YR 4/6, úmida); muito argilosa; forte média a grande/muito grande blocos subangulares; cerosidade forte e abundante; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa.

Observação: No perfil foi constatada linha de pedra com resquícios de feldspato, em aproximadamente 85 cm de profundidade, com espessura menor que 5 cm.

#### Perfil PC/PA-1. Análise granulométricas e química.

Perfil	Hz	Prof.	Espes.	Argila	Silte	Areia Total	Silte/Argila	CTC argila	pH		$\Delta$ pH
		(cm)				(g kg <sup>-1</sup> )		(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> O	KCl	
PC/PA-1	A1	0-30	30	583,3	71,1	345,6	0,1	32,2	4,3	3,7	-0,7
	A2	-70	40	595,5	27,1	377,5	0,1	26,0	4,5	3,8	-0,8
	B	-120+	50	655,3	39,3	305,4	0,1	10,8	4,9	4,0	-0,8

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor S	CTC efetiva	Valor T	Valor V	Valor m	PST	C	N	C/N
(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )								(%)						
0,2	0,1	0,5	0,6	3,7	17,4	1,4	5,0	18,8	7,4	72,4	0,3	4,5	0,3	15,0
0,1	0,0	0,1	0,2	3,1	15,1	0,4	3,5	15,5	2,5	88,7	0,3	2,8	0,2	17,1
0,1	0,0	0,6	0,4	1,0	6,0	1,1	2,1	7,1	15,6	47,7	0,6	1,2	0,1	15,8

## PERFIL PC/PA-2

### DESCRIÇÃO GERAL

DATA: 26 de julho de 2018.

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico, A húmico, textura argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, relevo ondulado (SiBCS; Embrapa, 2018).

UNIDADE DE MAPEAMENTO: OY3.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Barranco descrito na beira da PR-281, município de Tijucas do Sul, Paraná. Coordenadas aproximadas: 25°49'46.12"S e 49° 7'42.36"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Próximo à PR-281, com declividade aproximada de 17%, sob mata.

ALTITUDE: 908 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLÓGICA: Qha - Sedimentos Recentes; Sedimentos de deposição fluvial (aluviões), com areias, siltes, argilas e cascalhos, depositados em canais, barras e planícies de inundação. Aluviões indiferenciados (areias, argilas e cascalhos); Quaternário/Holoceno.

MATERIAL DE ORIGEM: Sedimentos do Quaternário.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado a ondulado.

EROSÃO: Ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

USO ATUAL: Mata.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

A1 0-20 cm [material depositado]; bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmida); argila; forte média granular; macia; muito friável; não plástica; não pegajosa; difusa e plana.

A2 20-48 cm; bruno muito escuro (10 YR 2/2, úmida); argila; forte média granular a blocos subangulares; macia ou ligeiramente dura; muito friável; não plástica; não pegajosa; gradual e plana.

BA 48-86 cm; bruno amarelado escuro (10 YR 3/6, úmida); argila; forte média a grande/muito grande blocos subangulares; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica e ligeiramente pegajosa; difusa e ondulada.

Bi 86-120 cm+; bruno-amarelado (10 YR 5/8, úmida); argila; forte média a grande/muito grande blocos subangulares; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa.

### Perfil PC/PA-2. Análise granulométrica e química.

Perfil	Hz	Prof.	Espes.	Argila	Silte	Areia Total	Silte/Argila	CTC argila	pH		ΔpH
		(cm)			(g kg <sup>-1</sup> )			(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> O	KCl	
PC/PA-2	A1	0-20	20	588,0	120,6	291,3	0,2	41,7	4,7	3,9	-0,9
	A2	-48	28	594,5	94,6	310,9	0,2	37,5	4,8	3,8	-1,0
	BA	-86	38	595,8	40,6	363,6	0,1	20,1	4,9	3,9	-1,0
	Bi	-120	34	504,9	138,9	356,2	0,3	14,7	4,9	4,0	-0,9

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor S	CTC efetiva	Valor T	Valor V	Valor m	PST	C	N	C/N
(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )								(%)						
0,3	0,1	2,1	1,5	2,4	20,6	3,9	6,3	24,5	16,0	37,5	0,3	7,0	0,4	15,8
0,1	0,0	0,5	0,4	3,5	21,3	1,1	4,6	22,3	4,7	77,2	0,2	5,4	0,3	21,3
0,1	0,0	0,5	0,4	2,0	10,9	1,1	3,0	12,0	8,8	65,0	0,3	2,3	0,1	21,4
0,1	0,0	0,1	0,2	1,4	7,0	0,4	1,8	7,4	5,8	76,5	0,5	1,2	0,1	17,2

### PERFIL PC/PA-3

#### DESCRIÇÃO GERAL:

DATA: 23 de julho de 2018.

CLASSIFICAÇÃO: ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico típico, textura de material orgânico, fase campo hidrófila de várzea, relevo plano (SiBCS; Embrapa, 2018).

Unidade de mapeamento: OY3.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Próximo a PR-281, município de Tijucas do Sul, Paraná. Coordenadas aproximadas: 25°49'47.41"S e 49° 7'44.32"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Trincheira localizada em área com declividade de aproximadamente 0,2%, sob cobertura de campo.

ALTITUDE (APROXIMADA): 905 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLÓGICA: Qha, Sedimentos Recentes; Sedimentos de deposição fluvial (aluviões), com areias, siltes, argilas e cascalhos, depositados em canais, barras e planícies de inundação. Aluviões indiferenciados (areias, argilas e cascalhos). Quaternário/Holoceno.

MATERIAL DE ORIGEM: Acumulação orgânica sobre sedimentos palustres.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Plano a ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Muito mal drenado.

USO ATUAL: Campo.

Observações: Raízes muito finas, poucas e fasciculadas nos horizontes orgânicos; sem poros visíveis.

**DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:**

Hd1 0-25 cm; bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmida); textura de matéria orgânica;

Hd2 25-60 cm; cinzento muito escuro (10 YR 3/1, úmida); textura de matéria orgânica;

Hd3 60-80 cm +; preto (10 YR 2/1, úmida); textura de matéria orgânica.

Observação: O perfil foi aberto com pá até 0,80 m; as camadas orgânicas continuavam em profundidade.

**Perfil PC/PA-3. Análise granulométrica e química.**

Perfil	Hz	Prof.	Espes.	Argila	Silte	Areia Total	Silte/Argila	CTC argila	pH		$\Delta$ pH
		(cm)		(g kg <sup>-1</sup> )				(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> O	KCl	
PC/PA-3	Hd1	0-25	25	603,2	254,7	142,1	0,4	36,8	5,0	3,8	-1,3
	Hd2	-60	35	687,3	254,7	58,8	0,4	19,0	4,7	3,5	-1,1
	Hd3	-80+	20	693,7	281,7	24,6	0,4	49,8	4,6	3,5	-1,0

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor S	CTC efetiva	Valor T	Valor V	Valor m	PST	C	N	C/N
(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )									(%)					
0,2	0,1	2,1	1,4	3,6	18,5	3,8	7,3	22,2	16,9	48,9	0,4	16,3	0,7	22,8
0,1	0,1	0,4	1,0	6,6	11,4	1,6	8,2	13,0	12,4	80,3	0,9	21,2	1,1	19,8
0,1	0,1	0,7	0,6	10,6	33,0	1,5	12,1	34,6	4,4	87,5	0,3	14,9	0,6	26,9

**PERFIL PA-1****DESCRIÇÃO GERAL:**

DATA: 25 de julho de 2018.

CLASSIFICAÇÃO: NITOSSOLO BRUNO Distrófico húmico, A húmico, textura muito argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado (SiBCS; Embrapa, 2018).

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CXbd1.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Fazenda Boqueirão, município de Tijucas do Sul, Paraná. Coordenadas aproximadas: 25°55'37.37"S e 49°11'54.77"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Topo da vertente, com declividade de aproximadamente 4%, sob mata.

ALTITUDE: 951 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLÓGICA: Peg8 – Suíte Alkali-granitos; Granito Agudos de Sul; Proterozóico Superior-Cambriano.

MATERIAL DE ORIGEM: Provenientes de materiais do conjunto de intrusões graníticas.

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.  
 EROSÃO: Não aparente.  
 DRENAGEM: Bem drenado.  
 USO ATUAL: Mata.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

A 0-40 cm; vermelho-amarelo (5 YR 5/6, úmida); muito argilosa; forte média ou grande/muito grande blocos angulares; macia; friável; não plástica; não pegajosa; transição gradual e plana.

B 40-80 cm; vermelho-amarelo (5 YR 5/8, úmida); muito argilosa; forte grande/muito grande blocos angulares e subangulares; cerosidade moderada e comum; ligeiramente dura; friável; plástica; ligeiramente pegajosa; transição difusa e plana.

BC 80-115 cm; amarelo-avermelhado (5 YR 6/6 [quartzo], úmida); muito argilosa, mistura de material de solo semelhante ao B com material de rocha em adiantado ou parcialmente intemperizado estado de intemperismo.

C 115-120 cm+.

#### Perfil PA-1. Análise granulométrica e química.

Perfil	Hz	Prof.	Espes.	Argila	Silte	Areia Total	Silte/Argila	CTC argila	pH		ΔpH
		(cm)		(g kg <sup>-1</sup> )				(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> O	KCl	
PA-1	A	0-40	40	655,7	78,7	265,7	0,1	22,3	4,4	3,6	-0,9
	B	-80	40	607,6	72,9	319,5	0,1	13,3	4,5	3,9	-0,7
	BC	-115	35	619,1	113,7	267,2	0,2	9,9	4,8	4,1	-0,7
	C	-120+	5	-	-	-	-	-	-	-	-

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor S	CTC efetiva	Valor T	Valor V	Valor m	PST	C	N	C/N
(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )								(%)						
0,2	0,1	0,5	0,4	3,2	13,5	1,1	4,3	14,6	7,6	74,0	0,5	3,5	0,3	11,3
0,1	0,0	0,3	0,2	1,8	7,5	0,6	2,5	8,1	7,7	74,7	0,5	1,5	0,1	12,4
0,1	0,0	0,3	0,2	0,8	5,6	0,5	1,4	6,1	8,9	60,4	0,6	0,9	0,1	15,8
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

#### PERFIL PA-2

#### DESCRIÇÃO GERAL

DATA: 25 de julho de 2018.

CLASSIFICAÇÃO: NITOSSOLO BRUNO Distrófico húmico, A húmico, textura muito argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, relevo ondulado (SiBCS; Embrapa, 2018).

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CXbd1.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Fazenda Boqueirão município de Tijucas do Sul, Paraná. Coordenadas aproximadas: 25°55'35.09"S e 49°11'59.27"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Terço superior da vertente, com declividade de aproximadamente 13%, sob mata.

Altitude: 948 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLÓGICA: PEg8 – Suíte Álcali-granitos; Granito Agudos de Sul; Proterozóico Superior-Cambriano.

MATERIAL DE ORIGEM: Provenientes de materiais do conjunto de intrusões graníticas.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochoso.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

USO ATUAL: Mata.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

A1 0-20 cm; bruno-escuro (7.5 YR 3/2, úmida); muito argiloso; forte média ou grande/muito grande blocos angulares; macia; friável; não plástica; não pegajosa; transição difusa e plana.

A2 20-45 cm; cinzento muito escuro (7.5 YR 3/1, úmida); muito argiloso; forte média ou grande/muito grande blocos angulares; macia; friável; não plástica; não pegajosa; transição gradual e plana.

B 45-80 cm; bruno (7.5 YR 4/4 [quartzo], úmida); muito argiloso; forte grande/muito grande blocos angulares e subangulares; cerosidade moderada e abundante; ligeiramente dura; friável; plástica; ligeiramente pegajosa; transição gradual e ondulada.

BC 80-120 cm+; vermelho (2.5 YR 4/8 [quartzo], úmida); muito argiloso; horizonte composto de mistura de material de solo semelhante ao B com material de rocha em adiantado ou parcialmente intemperizado estado de intemperismo.

#### Perfil PA-2. Análise granulométrica e química.

Perfil	Hz	Prof.	Espes.	Argila	Silte	Areia Total	Silte/Argila	CTC argila	pH		ΔpH
		(cm)			(g kg <sup>-1</sup> )			(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> O	KCl	
PA-2	A1	0-20	20	603,4	42,1	354,5	0,1	38,9	4,2	3,5	-0,7
	A2	-45	25	652,8	41,7	305,6	0,1	30,0	4,4	3,7	-0,7
	B	-80	35	659,8	26,4	313,8	0,0	13,2	4,6	3,8	-0,9
	BC	-120+	40	648,5	51,9	299,7	0,1	9,3	4,8	3,9	-0,9

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor S	CTC efetiva	Valor T	Valor V	Valor m	PST	C	N	C/N
(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )									(%)					
0,2	0,1	0,1	0,4	4,5	22,7	0,8	5,3	23,5	3,4	85,0	0,4	6,1	0,4	13,9
0,1	0,1	0,0	0,2	4,6	19,2	0,4	4,9	19,6	2,0	92,2	0,2	4,0	0,3	16,0
0,6	0,0	0,3	0,2	2,0	8,2	0,6	2,5	8,7	6,5	77,7	0,4	1,3	0,1	16,6
0,1	0,0	0,4	0,2	1,1	5,4	0,7	1,8	6,0	11,3	61,1	0,6	0,9	0,1	13,1



## PERFIL PA-3

### DESCRIÇÃO GERAL:

DATA: 12 de julho de 2019.

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico, A húmico, textura argilosa, fase mata, relevo ondulado (SiBCS; Embrapa, 2018).

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CXbd1.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Fazenda Boqueirão município de Tijucas do Sul, Paraná. Coordenadas aproximadas: 25°55'31.78"S e 49°12'0.39"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Terço inferior da vertente, com declividade de aproximadamente 17%, sob mata.

Altitude: 937 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLÓGICA: PEg8 – Suíte Álcali-granitos; Granito Agudos de Sul; Proterozóico Superior-Cambriano.

MATERIAL DE ORIGEM: Provenientes de materiais do conjunto de intrusões graníticas.

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregosa.

ROCHOSIDADE: Ligeiramente rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Ligeira.

DRENAGEM: Bem drenado.

USO ATUAL: Mata.

### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

A 0-35 cm; bruno-escuro (7.5YR 3/2, úmida); argila; forte pequena/média granular; ligeiramente dura; solta; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

AB 35-65 cm; bruno (7.5YR 5/4, úmida) com presença de feldspato; argila; forte média blocos subangulares; dura; friável; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

Bi 65-100 cm; bruno-forte (5YR 5/8, úmida) com presença de feldspato; argila; forte grande/muito grande prismática que se desfaz em blocos; moderada pouca; dura; friável; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa; transição plana e gradual.

BC 100-160 cm; amarelo-avermelhado (5YR 6/6, úmida) com presença de feldspato; argila; maciça; dura; firme; plástica; pegajosa; transição plana e difusa.

C 200 cm+ [caulim]; branco (10YR 8/1, úmida); franco argiloso.

Observação: Descrição realizada com solo úmido.

### Perfil PA-3 - Complementar. Análise granulométrica e química.

Perfil	Hz	Prof.	Espes.	Argila	Silte	Areia Total	Silte/Argila	CTC argila	pH		ΔpH
		(cm)		(g kg <sup>-1</sup> )				(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> O	KCl	
PA-3	A	0-50	50	482,9	80,5	436,6	0,17	37,2	3,9	3,4	-0,4
	AB	-65	15	567,7	51,6	380,6	0,09	15,0	4,1	3,5	-0,6
	Bi	-100	35	558,9	76,2	364,9	0,14	10,2	4,2	3,6	-0,6
	BC	-160	60	562,6	53,6	383,9	0,10	9,1	4,2	3,6	-0,6
	C	200+	40	397,2	198,6	404,3	0,50	11,8	4,3	3,6	-0,6

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor S	CTC efetiva	Valor T	Valor V	Valor m	PST	C	N	C/N
(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )									(%)					
0,1	0,3	0,5	0,2	3,2	16,9	1,1	4,3	17,9	6,0	75,0	1,8	4,6	0,3	17,1
0,0	0,2	0,5	0,2	2,1	7,7	0,8	2,9	8,5	9,7	71,5	1,8	1,9	0,1	13,3
0,1	0,1	0,5	0,2	1,5	4,9	0,8	2,3	5,7	13,9	65,6	2,1	1,2	0,1	13,4
0,0	0,2	0,6	0,2	1,5	4,2	0,9	2,4	5,1	18,1	61,5	3,2	0,5	0,1	7,0
0,0	0,1	0,5	0,1	2,2	4,0	0,7	2,9	4,7	15,5	74,8	2,4	0,1	0,0	5,3

### PERFIL PA-4

#### DESCRIÇÃO GERAL:

DATA: 25 de julho de 2018.

CLASSIFICAÇÃO: ORGANOSSOLO HÁPLICO Sáprico típico, textura de material orgânico, fase campo hidrófila de várzea, relevo plano (SiBCS; Embrapa, 2018).

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CXbd1.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Fazenda Boqueirão município de Tijucas do Sul, Paraná. Coordenadas aproximadas: 25°55'28.47"S e 49°12'1.95"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Trincheira em área de várzea, com declividade de aproximadamente 0,2%, sob campo.

ALTITUDE: 930 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLÓGICA: PEg8 – Suíte Álcali-granitos; Granito Agudos de Sul. Proterozóico Superior-Cambriano.

MATERIAL DE ORIGEM: Acumulação orgânica sobre sedimentos palustres.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Plano.

RELEVO REGIONAL: Ondulado.

EROSÃO: Não aparente ou ligeira.

DRENAGEM: Muito mal drenado.

USO ATUAL: Campo.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

H1 0-25 cm; cinzento muito escuro (10 YR 3/1 [material pouco decomposto], úmida); textura de matéria orgânica.

Hd2 25-50 cm; bruno muito escuro (10 YR 2/2, úmida); textura de matéria orgânica.

Hd3 50-60 cm; preto (10 YR 2/1, úmida); textura de matéria orgânica.

Hd4 60-120 cm+; bruno acinzentado muito escuro (10 YR 3/2, úmida); textura de matéria orgânica.

#### Perfil PA-4. Análise granulométrica e química.

Perfil	Hz	Prof.	Espes.	Argila	Silte	Areia Total	Silte/Argila	CTC argila	pH		ΔpH
		(cm)		(g kg <sup>-1</sup> )				(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> O	KCl	
PA-4	H1	0-25	25	606,6	294,6	98,8	0,5	77,8	4,8	3,5	-1,3
	Hd2	-50	25	680,1	272,1	47,8	0,4	52,8	4,7	3,7	-1,0
	Hd3	-60	10	669,8	267,9	62,2	0,4	35,4	5,6	4,0	-1,7
	Hd4	-120+	60	801,7	180,4	17,9	0,2	37,1	4,7	3,9	-0,8

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor S	CTC efetiva	Valor T	Valor V	Valor m	PST	C	N	C/N
(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )								(%)						
1,5	0,3	1,0	1,4	4,7	43,1	4,1	8,8	47,2	8,7	53,3	0,5	28,5	1,9	15,4
0,2	0,1	-0,5	0,2	5,3	35,9	0,1	5,3	35,9	0,2	98,9	0,3	31,0	1,9	16,6
0,1	0,2	-0,6	0,2	3,1	23,8	-0,1	3,0	23,7	-0,3	102,0	0,9	32,3	1,8	18,2
0,1	0,0	0,0	0,2	4,5	29,4	0,3	4,8	29,7	1,1	93,0	0,2	16,3	0,6	29,5

#### PERFIL COMPLEMENTAR 1

DESCRIÇÃO GERAL:

DATA: 23 de julho de 2018.

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico, A húmico, textura muito argilosa, fase floresta subtropical perenifólia, relevo suave ondulado (SiBCS; Embrapa, 2018).

UNIDADE DE MAPEAMENTO: LBd3.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Barranco na PR-281, município de Tijucas do Sul, Paraná. Coordenadas: 25°54'50.54"S e 49°9'42.98"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL: Barranco com declividade de aproximadamente 4%, sob campo e cultivo agrícola.

ALTITUDE: 931 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLÓGICA: QPg – Formação Guabirotuba; argilas, arcósios, areias e cascalhos. Quaternário/Pleistoceno.

MATERIAL DE ORIGEM: Sedimentos inconsolidados do Plioceno e Pleistoceno.

PEDREGOSIDADE: Ligeiramente pedregosa.

ROCHOSIDADE: Ligeiramente rochosa.

RELEVO LOCAL: Suave ondulado.

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado.

EROSÃO: Moderada.

DRENAGEM: Bem drenado.  
USO ATUAL: Campo/lavoura.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

A 0-40 cm; bruno-escuro (7.5 YR 3/2, úmida); muito argilosa; moderada média granular a blocos subangulares; dura; firme; ligeiramente plástica; ligeiramente pegajosa; transição plana e difusa.

AB 40-55 cm; bruno (7.5 YR 4/4, úmida); muito argilosa; forte grande/muito grande blocos subangulares; muito dura; firme; plástica; pegajosa; plana e clara.

Bi1 55-80 cm; vermelho (2.5 YR 4/8, úmida); muito argilosa; forte grande/muito grande prismática; cerosidade moderada e pouca; muito dura; firme; muito plástica; muito pegajosa; transição ondulada e difusa.

Bi2 80-120 cm; vermelho-claro (2.5 YR 6/8, úmida); muito argilosa; forte grande/muito grande blocos subangulares; cerosidade moderada e pouca; dura; firme; muito plástica; muito pegajosa; transição ondulada difusa.

C 120-220 cm+.

#### Perfil complementar 1. Análise granulométrica e química.

Perfil	Hz	Prof.	Espes.	Argila	Silte	Areia Total	Silte/Argila	CTC argila (cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	pH		Δ pH
		(cm)	(cm)						H <sub>2</sub> O	KCl	
Compl. 1	A	0-40	40	637,8	127,6	234,6	0,2	30,1	4,8	3,8	-0,9
	AB	-55	15	729,6	54,1	216,3	0,1	15,9	4,8	4,0	-0,7
	Bi1	-80	25	690,6	76,7	232,7	0,1	10,8	4,4	4,2	-0,3
	Bi2	-120	40	668,5	144,2	187,3	0,2	7,6	4,9	4,0	-0,9
	C	-220+	100	476,9	225,9	297,2	0,5	13,2	4,6	3,7	-0,9

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor S	CTC efetiva	Valor T	Valor V	Valor m	PST	C	N	C/N
(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )								(%)						
0,1	0,0	0,6	0,8	3,1	17,7	1,5	4,6	19,2	8,0	66,6	0,2	3,5	0,2	21,5
0,1	0,0	0,1	0,4	1,2	11,1	0,6	1,7	11,6	4,8	68,1	0,3	2,2	0,2	18,9
0,1	0,0	0,1	0,4	0,6	6,8	0,6	1,2	7,4	8,7	46,1	0,5	1,3	0,1	16,6
0,1	0,0	0,6	0,6	0,8	3,8	1,3	2,1	5,1	25,3	37,7	0,7	0,4	0,1	6,9
0,1	0,0	0,2	0,4	3,5	5,6	0,7	4,2	6,3	11,1	83,6	0,6	0,5	0,0	17,4

#### PERFIL COMPLEMENTAR 2

#### DESCRIÇÃO GERAL:

DATA: 16 de agosto de 2019.

CLASSIFICAÇÃO: CAMBISSOLO HÚMICO Distrófico latossólico, A húmico, textura argilosa a muito argilosa, fase floresta subtropical perenifolia, relevo ondulado (Embrapa, 2018).

UNIDADE DE MAPEAMENTO: CXbd1.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO E COORDENADAS: Estrada de acesso para a Fazenda Boqueirão, município de Tijucas do Sul, Paraná. Coordenadas aproximadas: 25°54'59.85"S e 49°11'39.76"W.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL:  
Barranco na beira da estrada com declividade de 14%, sob campo.

ALTITUDE: 910 m.

LITOLOGIA, UNIDADE LITOESTRATIGRÁFICA E CRONOLÓGICA: APImgm -  
Complexo Gnáissico Migmatítico; Migmatitos oftálmicos, com paleosoma de  
biotita gnaisse, biotita-hornblenda gnaisse e hornblenda gnaisse, localmente  
com quartzitos. Arqueano-Proterozóico Inferior.

MATERIAL DE ORIGEM: Sedimentos inconsolidados do Plioceno e  
Pleistoceno.

PEDREGOSIDADE: Não pedregosa.

ROCHOSIDADE: Não rochosa.

RELEVO LOCAL: Ondulado

RELEVO REGIONAL: Suave ondulado a ondulado.

EROSÃO: Não aparente.

DRENAGEM: Bem drenado.

USO ATUAL: Mata.

#### DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA:

A 0-25 cm; bruno-escuro (10YR 3/3, úmida); argilosa; forte grande/muito  
grande blocos subangulares; ligeiramente dura; friável; ligeiramente plástica;  
ligeiramente pegajosa; transição plana e clara.

AB 25-40 cm; bruno-forte (7,5YR 5/6, úmida); muito argilosa; forte grande/muito  
grande blocos subangulares; ligeiramente dura; friável; plástica; pegajosa;  
transição plana e difusa.

BA 40-70 cm; bruno-forte (7,5YR 5/8, úmida); muito argilosa; forte grande/muito  
grande blocos subangulares; ligeiramente dura; friável; plástica; pegajosa;  
transição plana e difusa.

Bi1 70-100 cm; amarelo-avermelhado (5YR 6/8, úmida); argilosa; forte  
grande/muito grande blocos subangulares; muito dura; muito firme; plástica;  
pegajosa; transição plana e difusa.

Bi2 100-260 cm; vermelho-amarelado (5YR 5/8, úmida); argilosa; forte  
grande/muito grande blocos subangulares; muito dura; muito firme; plástica;  
pegajosa; transição plana e abrupta.

C 260-340 cm+ [caulim].

Perfil complementar 2. Análise granulométrica e química.

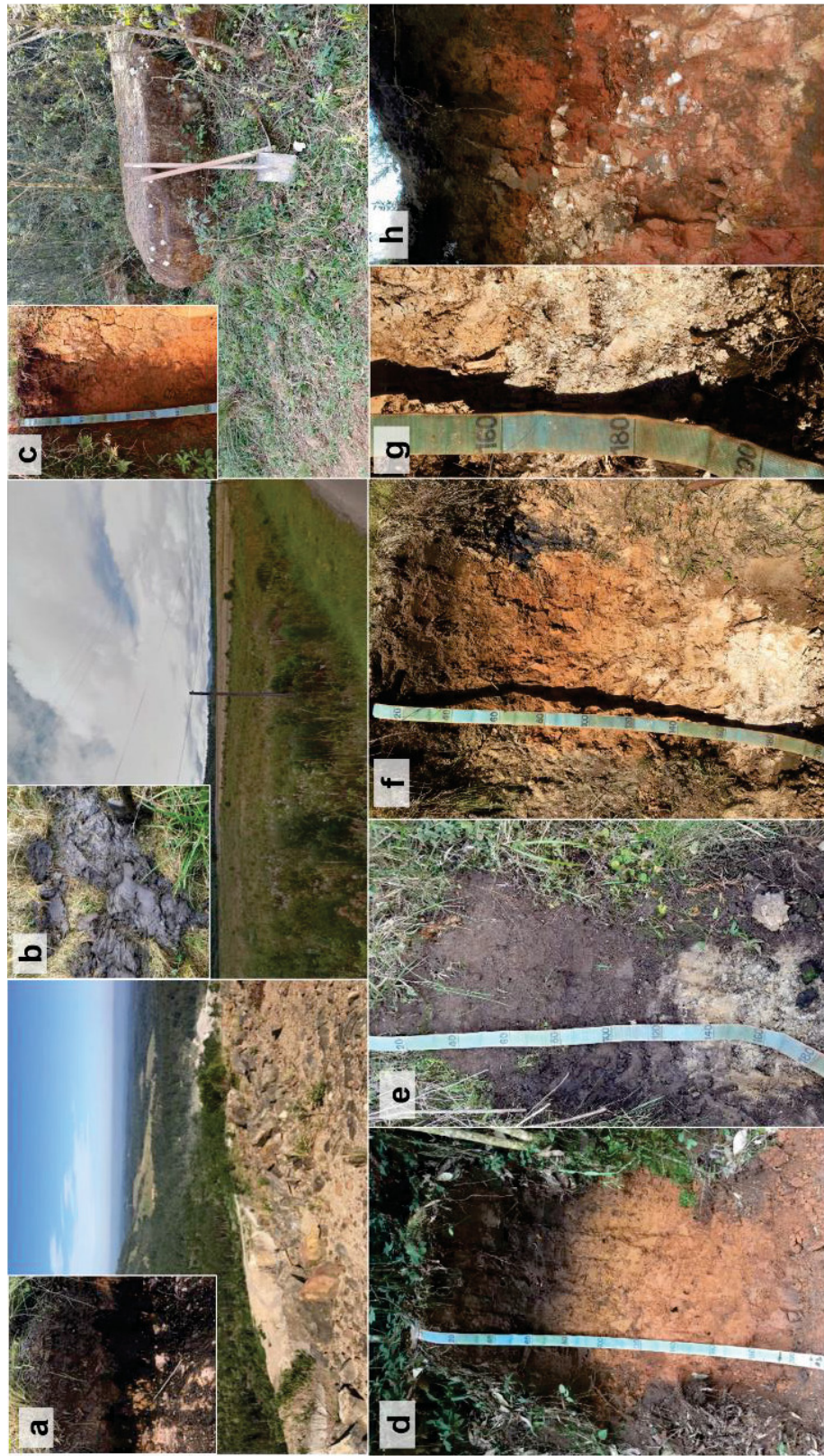
Perfil	Hz	Prof.	Espes.	Argila	Silte	Areia Total	Silte/Argila	CTC argila	pH		Δ pH
		(cm)		(g kg <sup>-1</sup> )				(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )	H <sub>2</sub> O	KCl	
Compl. 2	A	0-25	25	539,7	108,0	352,3	0,2	25,7	4,9	3,6	-1,4
	AB	-40	15	621,3	51,8	326,9	01	14,1	4,9	4,0	-1,0
	BA	-70	30	611,4	76,4	312,2	0,1	3,8	4,7	4,3	-0,4
	Bi1	-100	30	450,5	225,2	324,3	0,5	6,3	5,6	4,4	-1,2
	Bi2	-260	160	434,2	204,3	361,5	0,5	11,0	5,2	4,4	-0,9
	C	-340+	80	243,3	267,7	489,0	1,1	11,7	5,0	3,9	-1,1

K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H + Al	Valor S	CTC efetiva	Valor T	Valor V	Valor m	PST	C	N	C/N
(cmol <sub>c</sub> Kg <sup>-1</sup> )									(%)					
0,1	0,3	0,4	0,5	1,7	12,6	1,3	3,0	13,9	9,1	57,4	2,3	3,0	0,2	17,2
0,0	0,2	0,9	0,3	0,6	7,4	1,4	2,0	8,7	15,7	31,2	1,9	1,7	0,1	15,7
0,0	0,1	0,4	0,2	0,1	1,6	0,7	0,8	2,3	31,7	10,9	4,7	1,2	0,1	15,6
0,0	0,1	0,5	0,1	0,1	2,1	0,8	0,8	2,8	27,3	8,3	5,1	0,3	0,0	11,1
0,0	0,1	0,4	0,2	0,2	4,1	0,7	1,0	4,8	15,5	22,0	2,5	0,3	0,0	7,9
0,0	0,1	0,5	0,1	0,9	2,1	0,8	1,7	2,8	26,4	55,7	3,0	0,1	0,0	1,9



## APÊNDICE 2 – REPRESENTAÇÃO DE PERFIS DE SOLOS E PAISAGEM DE OCORRÊNCIA NO MUNICÍPIO DE TIJUCAS DO

### SUL – PR



Ambiente altimontano de ocorrência do perfil de Organossolo Fólico (a). Planície aluvial com Organossolo Háplico (b). Perfil de Nitossolo Háplico com horizontes enterrados, e nas proximidades foram encontradas evidências de cone de dejeção (c). Perfil de Nitossolo Bruno com horizonte A húmico, e caráter sómbrio (d). Gleissolo Melânico com horizonte A húmico (e). Perfil de Cambissolo Húmico (f), com camada de material caulinitico em subsuperfície (g). Perfil complementar de Nitossolo Bruno com a presença de linhas laterais com seixos de feldspato e quartzo, *stone lines* (h).